



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KÄSIKIRJA AURINKOSÄHKÖJÄRJESTEL- MÄN RAKENTAMISEN TUEKSI

Aleksi Laihonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

ALEKSI LAIHONEN:

Käsikirja aurinkosähköjärjestelmän rakentamisen tueksi

Opinnäytetyö 63 sivua
Toukokuu 2016

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selostaa yleisen sähköverkon ulkopuolelle rakennettujen aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät olennaisimmat asiat. Työn tarkoituksena oli toimia tukityökaluna kyseisiä laitteistoja rakentaville yksilöille ja yhteisöille. Tarpeen tällaisen työn toteuttamiseen loi vastaavien tukityökalujen puute saarekkeissa toimivista aurinkosähköjärjestelmistä. Työssä esiteltiin kyseisiin järjestelmiin liittyvien asioiden perusteet Auringon fuusioprosessista lähtien.

Opinnäytetyössä tutustuttiin Auringon energian tuotannon periaatteisiin sekä ilmakehän merkitykseen Auringon tuottaman säteilyenergian kulussa Maan pinnalle. Lisäksi tässä työssä käsiteltiin aurinkosähköjärjestelmien mitoittamista näiden tietojen pohjalta. Tässä työssä kartoitettiin lisäksi järjestelmäkomponenttien valinta mitoituksen perusteella ja komponenttien valintojen perusteella toteutettu järjestelmän rakenne. Lisäksi työssä käytiin läpi aurinkosähköjärjestelmien toteuttamisen olennaisimmat vaiheet käyttöönottotarkastusta myöten esimerkkiä hyödyntäen.

Työn suurimpana haasteena oli löytää kotimaisia materiaaleja työn toteuttamiseen. Suurin osa suomalaisesta aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta keskittyi verkkoon liitettyihin järjestelmiin, joten lähdemateriaaleissa esiintyy runsaasti myös vieraskielistä aineistoa. Erityisesti aurinkosähköjärjestelmien komponenttien käsittelyssä käytetyt lähdemateriaalit olivat suhteellisen tuoreita. Syynä tähän oli kyseisen aihealueen jatkuvasti kehittyvä tekniikka ja järjestelmien yleistyminen. Jatkuvan kehityksen takia mahdollisimman tuoreiden tietojen käyttäminen opinnäytetyössä oli elintärkeää.

Opinnäytetyön raportointi onnistui hyvin ja siitä tuli tavoitteensa mukainen. Oikeastaan kaikkia työssä käsiteltäviä aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä asioita voisi tarkentaa, mutta tällöin tukityökalusta tulisi kokonaisvaltainen käsikirja, mikä ei ollut työn tavoitteena. Tämän käsikirjan käyttö toimii parhaiten aurinkosähköjärjestelmistä kiinnostuneiden tietolähteenä ja järjestelmiä suunnittelevien tukityökaluna.

Asiasanat: aurinkosähköjärjestelmä, aurinkoenergia, suunnittelu, toteutus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

ALEKSI LAIHONEN:

A Manual to Support the Construction of a Photovoltaic System

Bachelor's thesis 63 pages

May 2016

The purpose of this thesis was to create a simple guidebook for individuals and communities building photovoltaic systems. The goal of this thesis was to describe the design process of stand-alone solar photovoltaic systems and the essential details related to the construction process. The need for this kind report was created by the lack of Finnish literature about the subject. This report works best as a handy source of information for the people who are generally interested in photovoltaic system or for those who are planning to build their own system.

The principles of solar energy production, as well as the effects of the atmosphere to the solar radiation on its way to Earth's surface were explained in this report. In addition, the sizing of photovoltaic systems with the information based on annual radiation measurements and the choosing procedure for the components of the solar energy system were described in this thesis. This report also shows the basic diagram of a stand-alone photovoltaic system's structure. The thesis study covered the essential steps of creating photovoltaic systems with the help of an example project.

The greatest challenge of the thesis was to find Finnish source materials for the creation of this report. A vast majority of Finnish literature related to the topic focused on grid-tied systems, so the source materials were mostly foreign. Especially the sources used in explaining solar photovoltaic systems were relatively current. The reason for this was the constant development of solar technology. These systems are also getting more and more common every year. Due to these facts the use of the most recent information was vital.

Key words: photovoltaic system, solar energy, design, execution

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	AURINKOSÄHKÖ YLEISESTI.....	6
2.1	Auringon energia	6
2.2	Auringon säteily ilmakehässä	8
2.3	Auringon energia Suomessa	11
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA KOMPONENTIT	14
3.1	Suunnittelun vaiheet	15
3.1.1	Käyttötarkoitus	15
3.1.2	Energian tarve	17
3.1.3	Tuotantomahdollisuudet.....	19
3.1.4	Mitoitus	22
3.2	Järjestelmän osat	25
3.2.1	Aurinkokennon toimintaperiaate.....	26
3.2.2	Aurinkopaneelityypit.....	29
3.2.3	Laturit.....	32
3.2.4	Invertterit.....	35
3.2.5	Energiavarastot.....	37
3.2.6	Kaapelointi	40
3.2.7	Kokonaisuus.....	43
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS	45
4.1	Laitekokonaisuuksien asennus.....	45
4.2	Paneeliston asennus	48
4.3	Järjestelmän käyttöönotto	51
4.4	Esimerkkiprojektin esittely	55
5	POHDINTA.....	61
	LÄHTEET.....	62

1 JOHDANTO

Tämä insinöörityö käsittelee eräälle kesähuvilalle rakennettua aurinkosähköjärjestelmää. Kyseessä oleva järjestelmä rakennettiin kesällä 2014 Suomen Sähkömestarit Oy:n toimesta. Tätä opinnäytetyötä ei kuitenkaan ole tehty kyseisen yrityksen tarpeisiin, vaan sen on tarkoitus toimia eräänlaisena käsikirjana aurinkosähköjärjestelmien toteutuksen vaiheista. Tämä järjestelmä on niin sanottu saarekejärjestelmä, mikä tarkoittaa, ettei sitä ole kytketty valtakunnan sähköverkkoon. Tällaisen järjestelmän toteuttaminen on kuitenkin likimain samanlainen kuin verkkoon kytketyn järjestelmän, joitakin seikkoja lukuun ottamatta. Tämän työn pääideana on käsitellä aurinkosähköjärjestelmien rakentamiseen liittyvät olennaiset asiat mahdollisimman käytännönläheisesti.

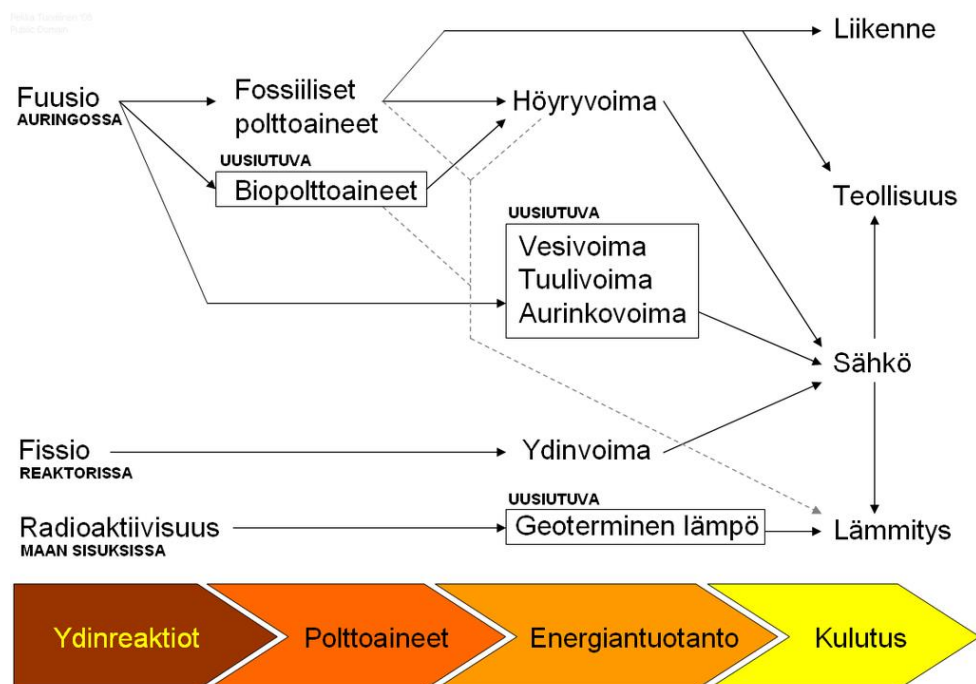
Ensimmäisenä käsiteltävänä asiana on aurinkosähköjärjestelmien energialähde. Tässä vaiheessa selvennetään, miten Aurinko tuottaa energiansa ja tämän energian kulkeutuminen Maan pinnalle. Käsiteltäviin asioihin kuuluu myös Maan ilmakehän ja Auringon sijainnin vaikutus vastaanotetun energian määrään. Lisäksi tehdään nopea vertailu säteilymääristä Suomen ja Saksan välillä. Vain järjestelmien energialähteen ja sen tuottamaan säteilyyn vaikuttavien tekijöiden ymmärtämisen kautta on mahdollista suunnitella hyvin toimiva aurinkosähkövoimala.

Toisena asiana lukijalle selvitetään aurinkosähköjärjestelmien suunnittelun periaatteet. Läpi käytäviä asioita ovat esimerkiksi järjestelmän mitoitus ja sähköturvallisuusmääräysten toteutuminen jo suunnitteluvaiheessa. Erityisen tärkeäksi seikaksi saarekejärjestelmässä nousee kuormitusten tarkka mitoittaminen, koska sähköverkko ei ole tukemassa järjestelmää. On siis varmistuttava, että asiakas pystyy tarpeidensa mukaan käyttämään sähköä vapaasti ilman turhia käyttökatkoksia. Toinen olennainen osa aurinkopaneelijärjestelmien suunnittelussa on komponenttien valinta järjestelmälle tehdyn kuormitustutkimuksen perusteella. Kolmannessa osuudessa käymme läpi järjestelmän rakentamisen ja käyttöönoton eri vaiheita jo toteutetun esimerkkijärjestelmän avulla. Tässä vaiheessa syvennymme työmaalla huomioitaviin seikkoihin ja rakentajien ammattitaidon vaikutukseen järjestelmän toimintaan ja turvallisuuteen.

2 AURINKOSÄHKÖ YLEISESTI

2.1 Auringon energia

Aurinko on Maan elämän lähde ja tätä kautta se on myös planeettamme suurin energian tuottaja. Maan kasvillisuus käyttää auringosta saamaansa energiaa yhteyttämisprosessiin, joka tuottaa melkein kaiken energian eliökuntamme energiatarpeisiin. Myös suuri osa ihmisen tuottamasta sähköenergiasta saadaan joko suoraan tai välillisesti auringosta juuri tästä syystä. Esimerkiksi puuhake, jota käytetään sähkö- ja lämpöenergian tuottamiseen, on suoraa seurausta auringon säteilyn energiasta. Suurimmista energian tuotannon muodoista vain ydinvoimasta, maan ytimen lämmöstä ja kuun aiheuttamista vuorovesivaihteluista saatava energia ei ole lähtöisin auringosta. Kuvassa 1 esitetään asiaa selkeyttävä kaavio auringon tuottaman energian tuotantoketjusta. (Energia Yhteiskunnassa, 2005)



KUVA 1. Energiantuotantoketjun periaatekuva (Wikipedia. Aurinko)

Yllä olevasta kuvasta voi helposti nähdä, miten maailmamme tuottaa energiansa. Ydinvoimaloissa ja maan ytimessä energian tuotanto tapahtuu fission avulla ja Auringon fuusio tuottaa loput Maan energiasta. Asiaa voidaan selventää esimerkin kautta. Tuulienergian voimanlähde syntyy ilmakehän lämpötilaeroista ja nämä erot johtuvat Auringon säteilyn ilmakehälle luovuttamasta energiasta.

Aurinko tuottaa energiansa ytimessään tapahtuvalla fuusiolla, jonka mahdollistaa sen ytimessä vaikuttava erittäin suuri lämpötila ja paine, mikä hajottaa yksittäiset atomit plasmaksi. Yksittäisen reaktion tapauksessa tämä tarkoittaa neljän vetyatomin fuusioitumista yhdeksi heliumatomiksi. Kokonaisuudessaan tässä fuusiossa 600 miljoonaa tonnia vetyä muuttuu 596 miljoonaksi tonniksi heliumia joka sekunti. Aivan kuten kaikissa muissakin muodonmuutoksissa, tässäkin prosessissa syntyy hukkaenergiaa, joka vapautuu avaruuteen lämpösäteilynä. (Ilmatieteenlaitos) Tämä hukkaenergia on suoraan laskettavissa massavajeesta suhteellisuusteoriasta tutulla yhtälöllä

$$E = m \cdot c^2, \quad (1)$$

jossa E tarkoittaa energiaa, m vedyn ja heliumin massojen erotusta ja c valonnopeutta. Yleisesti kiinnostuneempia ollaan kuitenkin Auringon tuottamasta tehosta. Tämä teho lasketaan jakamalla tuotettu energia prosessin keston ajalla, jolloin tehon määrä voidaan laskea yhtälöllä

$$P = \frac{m \cdot c^2}{t}, \quad (2)$$

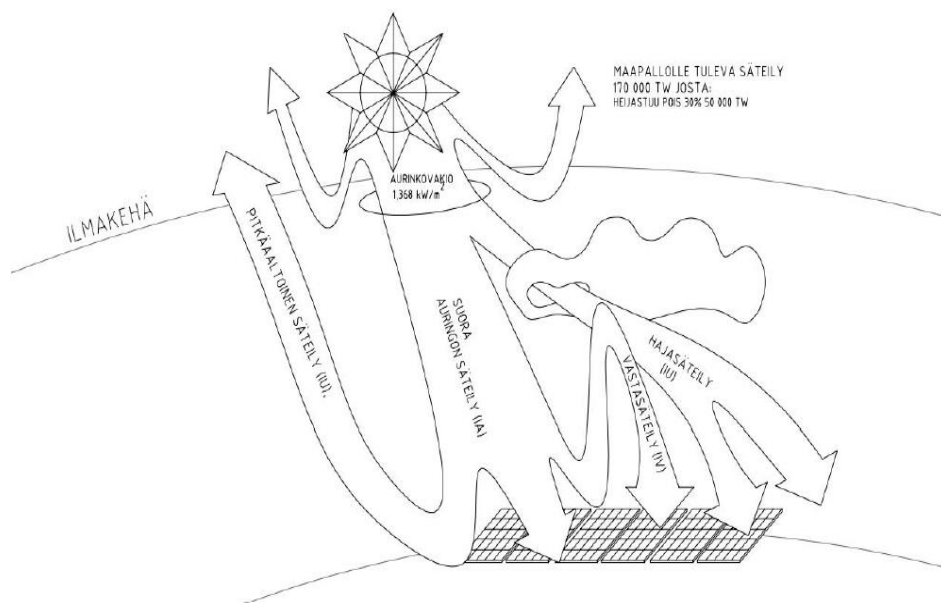
jossa P on Auringon teho ja t on tehon tuottamiseen tarvittava aika. Sijoittamalla lukuarvot kaavaan 2 saadaan Auringon teholle numeerinen arvo. Fuusiossa energiaksi muuttuu siis 4 milj. tonnia vetyä, valon nopeus on n. 300 000 kilometriä sekunnissa ja tähän tarvittava aika on 1 s. Näiden arvojen perusteella Auringon säteilyteho on

$$P = \frac{4 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \left(300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}\right)^2}{1 \text{ s}} 3,6 \cdot 10^{26} \text{ W}. \quad (3)$$

Tämä lämpöenergia siirtyy auringon pinnalle ytimen ja pinnan suuren lämpötilaeron ta-soittamiseksi. Pinnaltaan Aurinko säteilee tuottamaansa energiaa kaikkialle avaruuteen. Tästä säteilystä myös Maapallo saa oman osuutensa ja säteilyn suuruus ilmakehän ylärajalla ilmoitetaan aurinkovakiolla (S), jonka suuruus on noin 1368 wattia per neliömetri. Käytännössä tämä teho ei kuitenkaan ole vakio, vaan sen suuruus vaihtelee noin $\pm 3,3$ %. Maan pinnalle osuvan säteilyn teho on vieläkin pienempi, yleensä noin 60 % aurinkovakiosta, ilmakehän säteilyä heijastavasta ja absorboivasta luonteesta johtuen. (Suntekno Oy.)

2.2 Auringon säteily ilmakehässä

Auringon säteilyn intensiteettiin Maan pinnalla vaikuttavat useat eri tekijät. Osa säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen jo osuessaan ilmakehään ja osa tunkeutuu sen pinnan läpi. Läpi tunkeutunut säteily voi hajaantua osuessaan johonkin ilmakehässä olevaan väliaineeseen esim. pilveen tai heijastua takaisin avaruutta kohti Maan pinnalta. Osa takaisin heijastuvasta säteilystä saattaa myös vaihtaa suuntaansa takaisin kohti Maan pintaa jonkin heijastuspinnan ansiosta. Auringon säteilyn jakautuminen Maan ilmakehällä ja sen sisäpuolella on esitetty kuvassa 2. (Erat, 2008)



KUVA 2. Säteilyjakauma (Isojunno, 2014)

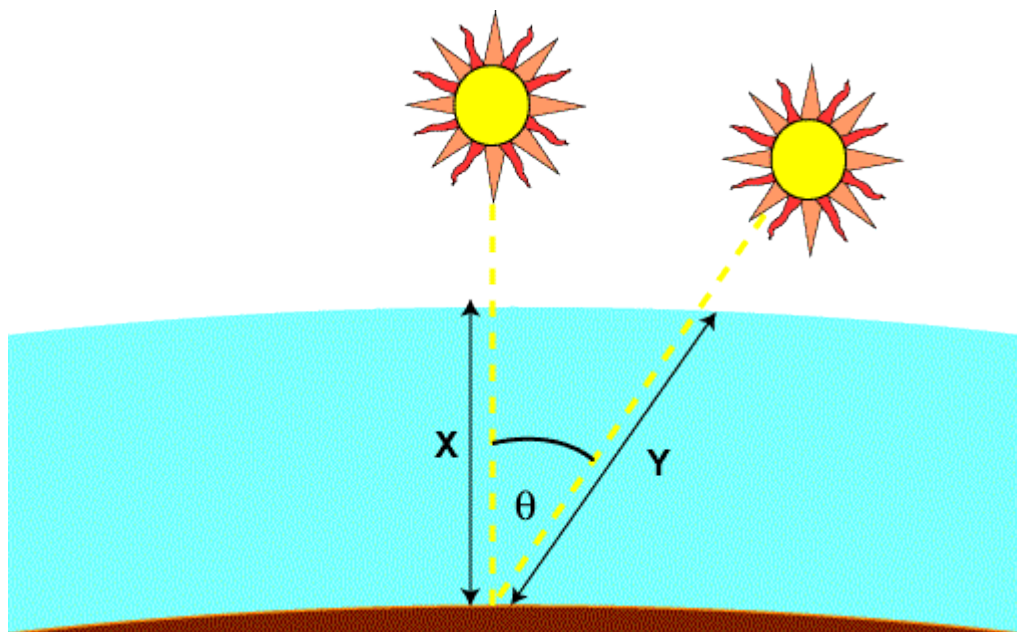
Auringon säteilystä saatava kokonaisenergia Maan pinnalla on laskettavissa eri säteilytyyppien summalla. Tässä laskentatavassa summataan yhteen yllä olevan kuvan mukaiset säteilytyypit Maan pinnan kokonaissäteilyintensiteetin laskemiseksi. Maan pinnalle saapuvan säteilyn summa on

$$I = I_A + I_D + I_V - I_U, \quad (4)$$

jossa I_A on Auringon suora säteily, I_D on hajasäteily, I_V on vastasäteily ja I_U on takaisin avaruuteen heijastuva pitkäaaltoinen Auringon säteily. Takaisin heijastuva säteily heijastuu ilmakehästä tai maan pinnalta ja sen arvo on n. 30 % aurinkovakiosta, kuten kuvassa

2 on esitetty. Tällainen laskenta on mahdollista kuitenkin vain, jos tiedetään eri säteilytyyppien teholliset arvot. Toinen tapa laskea hyödynnettävissä oleva auringon säteilyn intensiteetti on hyödyntää niin kutsuttua ilmamassakerrointa (AM). (Erat, 2008)

Ilmamassa kuvaa auringon säteilyn pilvettömässä ilmakehässä kulkemaa matkaa, jonka pituuteen vaikuttaa Auringon sijainti suhteessa Maassa sijaitsevaan tarkastelupisteeseen. Yksinkertaisesti sanottuna: mitä suurempi ilmamassakertoimen suuruus on, sitä vähemmän säteilyä tarkastelupisteeseen osuu. Tämä kerroin on pienimmillään, kun Aurinko on kohtisuorasti mittauspisteen yläpuolella. Ilmamassakertoimella huomioidaan säteilyn hajaantuminen ja heijastuminen ilmakehän pienhiukkasten ja –kaasujen takia, mutta ei pilvien vaikutusta. Kuvassa 3 esitetään tämän suhdeluvun perusajatus. (Korpela, 2013)



KUVA 3. Auringon sijainnin vaikutus säteilyyn (PVEducation)

Yllä olevasta kuvasta näkee helposti säteilijän suhteellisen sijainnin vaikutuksen säteilyn kulkemaan matkaan. Näillä tiedoilla ilmamassakertoimen laskemiseksi tarvitaan vain perustrigonometriaa. Tällä tapaa laskettaessa suhdeluku saadaan cos-funktion käänteisluvusta. Tällainen laskenta vaatii kuitenkin Auringon sijaintitaulukoiden hyödyntämistä kyseisenä vuodenaikana. Olemassa on myös melko maanläheinen laskentamalli, joka ei vaadi kuin pylvään, jonka pituus tunnetaan. Tämä pylväs langettaa varjon, jonka pituus riippuu Auringon asennosta. Ilmamassakertoimen suuruus varjon ja pylvään pituustietojen perusteella on

$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{d}{h}\right)^2}, \quad (5)$$

jossa h on pylvään korkeus ja d on Auringon tuottaman varjon pituus. Tämä yksinkertainen malli perustuu Pythagoraan lauseeseen eikä se huomioi lainkaan Maan pallomaista muotoa, jolloin sitä ei pystytä hyödyntämään rajatapauksissa, kuten Auringon nousuissa tai laskuissa. Maan muodot huomioiva laskenta vaatii huomattavasti monimutkaisempaa geometriaa, jota ei tässä työssä käydä läpi. Suoran säteilyn määrä lasketaan ilmamassaa hyödyntävällä tuloyhtälöllä

$$I_D = S \cdot 0,7^{AM^{0,678}}, \quad (6)$$

missä I_D on Auringon suoran säteilyn komponentti, S on aurinkovakio, kerroin 0,7 tulee ilmakehän aiheuttamista takaisinheijastumasta, AM on ilmamassakerroin ja eksponentti 0,678 on ilmakehän heterogeenisyyden huomioiva kerroin, joka perustuu pitkäaikaisten mittausten keskiarvoon. Kirkkaanakin päivänä hajasäteilyn määrä on noin 10 % suorasta säteilystä, joten Maan pintaan osuvan kokonaissäteilyn arvo saadaan kertomalla kaavan 6 tulos 1,1:llä. Alla olevassa taulukossa on esillä esimerkkejä ilmamassakertoimista eri päivän aikoina. (PVEducation)

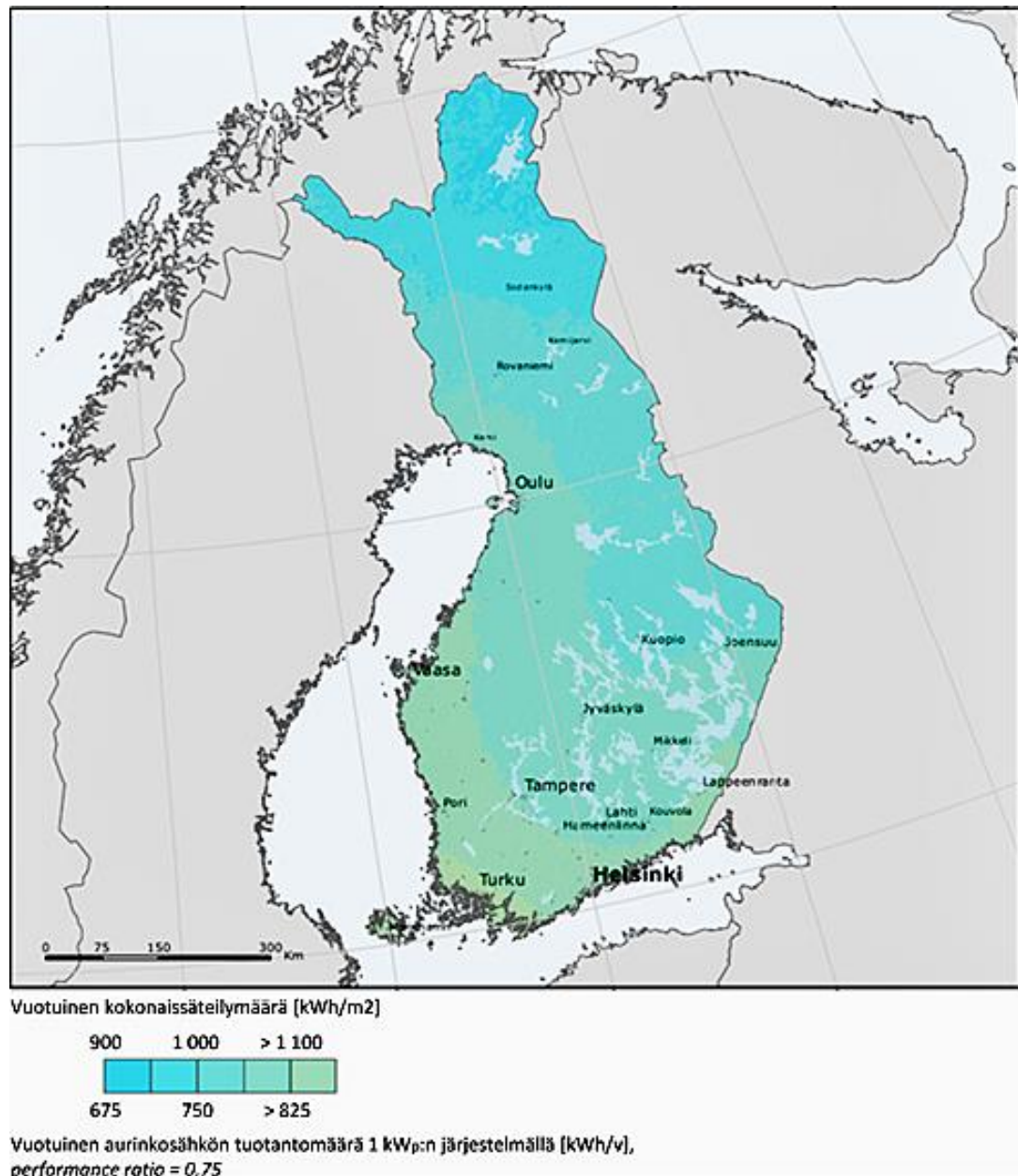
TAULUKKO 1. Auringon sijainnin vaikutus ilmamassaan

θ	AM
0	1
30	1,155
45	1,414
60	2
75	3,864
90	∞

Auringon ollessa kohtisuorasti tarkastelupisteen yläpuolella ilmamassan suuruus on 1. Kertoimen itseisarvo kasvaa, kun aurinko liikkuu kauemmas tästä pisteestä (Kuva 3). Ilmamassan suuruus voi olla myös 0, mutta se on mahdollista vain Maan ilmakehän ulkopuolella. Tätä arvoa käytetään yleensä esim. avaruuteen lähetettävien luotaimien aurinkosähköjärjestelmissä. Helpoin tapa Auringon energiamäärien selvittämiseksi eri osissa maapalloa on käyttää pitkäaikaisten mittaustulosten keskiarvoa, sillä yksinkertaistetun ilmamassan käyttö laskennassa antaa riittävän tarkan tuloksen. (Korpela, 2013)

2.3 Auringon energia Suomessa

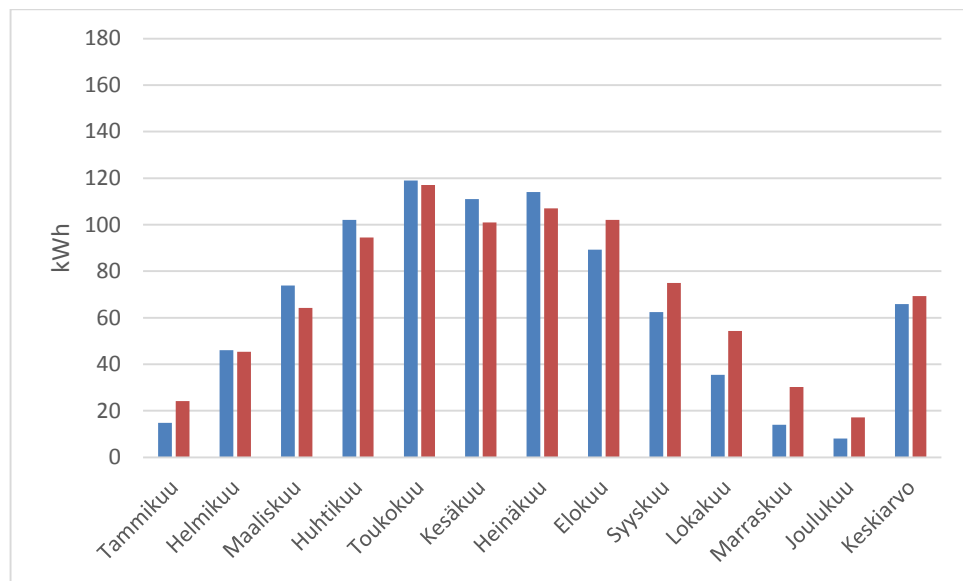
Auringon säteilyn energian määristä on tarjolla runsaasti tietoa myös luotettavissa verkkolähteissä. Esimerkiksi ilmatieteenlaitos ja Euroopan komission rahoittama PVGIS-tietosivusto ovat oivallisia tietolähteitä kyseisestä aiheesta kiinnostuneille. Ilmatieteenlaitos tarjoaa yleistä mittausdataa ilmastosta Suomen eri lämpötilavyöhykkeillä, mutta PVGIS:n sivuilla on tarjolla Auringon energiaan keskitettyä tietoa ja erilaisia laskureita mm. aurinkosähköjärjestelmien suorituskyvyn arvioimiseksi. Kuvassa 4 on esitetty Auringon säteilyn vuotuinen energiamäärä Suomessa.



KUVA 4. Vuosittainen Auringon säteilyenergian määrä Suomessa (Motiva, 2015)

Kuvan 4 mittauksen toteuttamiseen käytetyn järjestelmän teho on 1 kW_p, mikä tarkoittaa sen huipputehon olevan 1 kW. Järjestelmän suorituskyyä kuvataan termillä ”performance ratio”, jonka suuruus on 0,75. Tämä luku kuvaa järjestelmän suorituskyyä tietyillä alueilla ja olosuhteissa. Se on prosenttiluku, joka kuvaa aurinkosähkövoimalan todellisen tehon tuoton suhdetta teoreettiseen arvoon. Tämä tarkoittaa, että mittauksissa käytetyn järjestelmän (1 kW_p) todellinen antoteho jää vain n. 750 wattiin.

Kuvasta 4 näkee melko hyvin Auringon säteilymäärien laskevan jonkin verran pohjoiseen kuljettaessa. Eteläisen Suomen tuotantomahdollisuudet ovat kuitenkin samaa tasoa kuin Pohjois-Saksassa vuotuisen säteilyenergian määrän ollessa vain joitakin kymmeniä kilowattitunteja suurempi kuin Suomen etelä-osissa, joissa vuosittainen tuotanto jää noin 980 kWh tasolle. Tämä energian tuotanto sijoittuu suurimmilta osin kesäkuukausille, jolloin päivän pituus lisää energian tuottoa. Kuvassa 5 esitetään eräällä PVGIS:n tarjoamalla työkalulla laskettu Auringon säteilyenergian jakauma Tampereella ja Bremenissä vuoden aikana. (Motiva, 2015)



KUVA 5. Auringon säteilyenergian määrät eri kuukausina Tampereella ja Bremenissä

Sininen pylväs kuvastaa Tampereella tuotetun energian määrää ja punainen pylväs vastaavasti kertoo Bremenissä tuotettu energia. Molemmat tapaukset laskettiin saman tehoisella aurinkosähköjärjestelmällä, jonka häviöt arvioitiin yhtä suuriksi. Lisäksi järjestelmien asennus ja suuntaus oli optimoitu kohteen sijainnin mukaan. Kuten kuvasta näkee, kaupunkien vuotuiset energiantuotannon keskiarvot ovat lähes yhtä suuret. Bremenissä tuotanto on ympärivuotisesti tasaisempaa, koska siellä talvi ei ole yhtä pimeä kuin Suomessa. Tampereen energiantuotannossa talvella ollaan todella alhaisissa lukemissa, kun taas kesäkuukausina tuotanto on suurempaa kuin Pohjoisessa Saksassa. (IET)

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA KOMPONENTIT

Oikein ja luotettavasti toimivan aurinkosähköjärjestelmän toteuttaminen alkaa huolellisesta suunnittelusta. Suunnitteluprosessi koostuu useiden eri tekijöiden huomioimisesta. Hyvin tehdyt alustavat tutkimukset johtavat järjestelmän oikeaan mitoittamiseen, mikä johtaa järjestelmän tilaajan toiveiden täyttymiseen sekä energian tuotannon että budjetin osalta. Tällöin on todennäköistä, että järjestelmän tilaaja suosittelee sinua auringon energian hyödyntämisestä kiinnostuneille tuttavilleen.

Järjestelmän suunnittelu kannattaa aloittaa järjestelmän tarkoituksen määrittämisestä. Erilaisia järjestelmäkokonaisuuksia voidaan sanoa olevan yhtä monta kuin on tilaajiakin. Esimerkiksi joihinkin verkkoon kytkettyihin talouksiin halutaan aurinkosähköjärjestelmä sähkölaskujen tai hiilijalanjäljen pienentämiseksi ja joillakin syrjäisillä alueilla sijaitsevien rakennusten ainoa käytännön kannalta järkevä sähköistystapa on hyödyntää aurinko- tai tuulienergiaa ilman kiinteän sähköverkon tukea. Järjestelmän toteutustavan selvittyä on tarkasteltava kohteen päivittäistä energian tarvetta ja tuotannon mahdollisuuksia.

Saarekekäytöissä energiantarpeen riittävän tarkka laskeminen on elintärkeää järjestelmän moitteettoman toiminnan takaamiseksi. Tämä määrittäminen voidaan yksinkertaistaa kuormalaitteiden tehojen ja käyttömäärien tutkimiseen. Tuotantomahdollisuuksien määrittämiseksi on usein hyvä käyttää tietokantoja, joihin on sisällytetty pitkäaikaisista mittaus-tiedoista laskettuja keskiarvoja. Paikan päällä parhaan sijainnin määrittämiseen on hyvä käyttää esim. kannettavia säteilymäärämittareita tai älypuhelinta, jossa on sisäänrakennettu aurinkokenno.

Sähköenergian tarpeen ja tuotantomahdollisuuksien selvittämisen jälkeen on mahdollista mitoittaa järjestelmältä vaadittava suorituskyky. Käytännössä tämä tarkoittaa järjestelmässä käytettävien paneelien tehon ja lukumäärän päättämistä. Hyvin mitoitettun generaattorilaitteiston perusteella valitaan järjestelmän muut komponentit. Saarekekäytöissä on erityisen tärkeää muistaa myös riittävän suuren energiavaraston huomiointi suunnittelussa jatkuvan tarpeen mukaisen toiminnan takaamiseksi. Komponenttien valinnan yhteydessä on syytä huomioida myös tehon siirron häviöt hyvän hyötysuhteen ja turhien poiskytkentöjen määrän minimoimiseksi.

3.1 Suunnittelun vaiheet

Tässä luvussa käsitellään pääpiirteisesti aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun eri vaiheet. Nämä vaiheet voidaan karkeasti jakaa viiteen osaan. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään asiakkaan toiveet järjestelmän toiminnalta. Toisena tutkitaan kohteen kulutusjärjestelmän energiatarpeen suuruus ja mahdolliset laajennukset tulevaisuuden varalta. Kolmantena tutkimuksen aiheena on kohteen energiantuotantomahdollisuuksien selvittäminen. Neljännessä vaiheessa tehdään energiantuotantojärjestelmän tehon mitoitus kolmen ensimmäisen vaiheen tietojen pohjalta. Suunnittelun viimeisessä vaiheessa valitaan järjestelmän komponentit teho- ja energiatarpeen mukaisesti. Tämän jälkeen voidaan järjestelmän toteutus aloittaa.

3.1.1 Käyttötarkoitus

Aurinkosähköjärjestelmien käyttötarkoituksia on erittäin paljon ja sen lopullinen käyttötapa on täysin kiinni tilaajan toiveista. Jotkut käyttäjät haluavat vain valaista piharakennuksensa auringon energian avulla, kun taas toiset haluavat valjastaa auringon energian kattamaan koko kiinteistönsä sähköenergian tarpeet. Aurinkosähköjärjestelmät jakautuvat valtakunnallisen sähköverkon ohella toimiviin järjestelmiin ja saarekejärjestelmiin. Molempien ryhmien järjestelmien mittakaavat ja käyttötavat vaihtelevat huomattavan paljon, joten voidaan sanoa jokaisen järjestelmän olevan jokseenkin yksilöllinen. Seuraavissa kappaleissa selostetaan hieman aurinkosähköjärjestelmien yleisimpiä käyttötarkoituksia molemmissa pääryhmissä. (Boxwell, 2014)

Kaikessa yksinkertaisuudessaan saarekejärjestelmällä tarkoitetaan kohdetta, joka ei ole yhteydessä yleiseen sähköverkkoon. Tällaisissa järjestelmissä kaikki sähköenergia tuotetaan paikan päällä kulutusjärjestelmän välittömässä läheisyydessä. Saarekejärjestelmä sijaitsee yleensä kaukaisessa paikassa, johon sähköverkon vieminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Esimerkkeinä tällaisista paikoista voidaan pitää pienellä saarella sijaitsevaa mökkiä tai yksittäistä laitetta keskellä ei mitään. Nämä laitteistot ovat yleensä todella pientä mittaluokkaa, mutta niiden toiminnan varmistaminen on erittäin tärkeää. Näiden järjestelmien päätarkoitus on tuottaa energiaa laitteistoille kohteissa, joissa yleiseen sähköverkkoon ei voida tukeutua. Saarekejärjestelmän etuna on myös, ettei sen toimintaan vaikuta sähkönsä jakelun katkokset ympäröivillä alueilla. (Käpylehto, 2014)

Verkkoon liitettyjä aurinkosähköjärjestelmiä käytetään yleisestä sähköverkon rinnalla. Näiden järjestelmien taloudellisten etujen arviointi vaatii huomattavasti suurempaa laskentaa, sillä näissä laskuissa pitää huomioida sähköenergian kokonaisostohinnan ero myytävään tuotetun sähköenergian hintaan. Tällä hetkellä tuotetun sähköenergian myynnistä saatava hinta on noin kolmasosa ostetun energian hinnasta. Tämä johtuu siitä, että tuotetusta energiasta maksetaan vain volyymihinta. Verkosta saatavasta energiasta maksetaan vastaavasti energiasta, energian siirrosta ja veroista. (Energiatoteellisuus, 2010)

Verkkoon liitettyistä järjestelmistä saadaan taloudellisesti kannattavia vain hyödyntämällä kaikki tuotettu energia itse. Tällaisen järjestelmän toteuttaminen vaatii pohjakuorman perinpohjaista tutkimusta, jotta vähäisintäkään osaa kiinteistön tuottamasta sähköenergiasta ei kulkeutuisi yleiseen sähköverkkoon. Pohjakuormalla tarkoitetaan kohteen vakituista sähkön tarvetta, mikä yleisesti syntyy lämmityksestä, ilmastoinnista, ilmanvaihdesta ja erillisten laitteiden tyhjäkäyntivirroista. Verkkoon kytkettyjä järjestelmiä käytetään yleisesti maissa, joissa on käytössä ns. syöttötariffi. Syöttötariffi määrittää minimihinnan, jolla verkkoyhtiön on ostettava kyseisen tuottajan tarjoama energia. Suomessa kyseistä käytäntöä ei kuitenkaan aurinkosähkön osalta ole, mikä laskee kansan mielenkiintoa hankkia aurinkoenergiaa kiinteistöihinsä. (Energiavirasto) Täysin rahallisen puolen ohella verkkoon liitettyä aurinkosähköjärjestelmää voidaan käyttää myös kohteen energiatehokkuuden lisäämiseksi tai varavoimalähteenä. Aurinkosähköjärjestelmiä voidaan käyttää myös varageneraattoreina yleisen sähköverkon vikaantuessa. Tällaisen järjestelmän toiminta ilman akustoa vaatii kuitenkin aina auringon säteilyä toimiakseen, joten sitä ei voida pitää kovinkaan luotettavana varageneraattorina. Akuston lisääminen järjestelmään saattaa lisätä sen etuja, mutta tällöin myös kustannukset nousevat merkittävästi, mikä laskee järjestelmän kannattavuutta. (Boxwell, 2014)

Esimerkkiprojektissamme järjestelmän käyttötarkoituksen selvitys tehtiin yksinkertaisesti haastattelemalla järjestelmän tilaajaa rakennuskohteessa. Kohteena oli suhteellisen suuri kesähuvila, joka ei ole yhteydessä valtakunnalliseen sähköverkkoon. Asiakas halusi koko huvilan ja sen piha-alueen sähköisten kulutuslaitteiden toimivan aurinkoenergialla. Tilaaja käyttää huvilaansa pääasiassa loppukeväästä loppukesään. Tämä seikka on tärkeä huomioitava seikka järjestelmän mitoituksen kannalta. Aiemmin kohteen sähköntuotannosta vastasi aggregaatti, jonka hän toivoi jatkossa toimivan aurinkosähköjärjestelmän varavoimalähteenä.

3.1.2 Energian tarve

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu on paras aloittaa kohteen sähkölaitteiston energiamäärien selvittämisestä. Yksityiskohtaisella tutkimuksella pystytään varmistamaan tuotantojärjestelmän toimivuus kaikissa olosuhteissa. Selvitykseen kannattaa sisällyttää kaikkien nykyisten kulutuslaitteiden lisäksi lähitulevaisuudessa järjestelmään tapahtuvat sähkölaitelisykset. Normaalin kuormitusselvityksen ja laajennusvarojen huomioonlisisänsä kannattaa arvioida myös tyhjäkäyntivirratt, joiden merkitys erityisesti pienissä järjestelmissä voi olla erittäin suuri. Energiaselvityksen tarkempi kulku selviää esimerkki-projektin avulla. (Davidson, 2008)

Esimerkkiprojektin kiinteistö on suhteellisen lähellä normaalia sähköverkkoa, joten käyttäjän olisi taloudellisesti edullista liittyä siihen. Asiakkaan toiveena oli kuitenkin saada kesähuvilaansa sähköenergian kannalta täysin omavarainen järjestelmä sekä toimintavarmuuden että ekologisuuden takia. Tilaajan motiiveista huolimatta energian tarpeen taustaselvitys tehdään aina samalla periaatteella. Tärkein muistettava seikka saarekejärjestelmän tarveselvityksessä on mahdollisimman tarkka kulutuksen kartoitus, jotta järjestelmä toimisi kuten normaalissa sähköverkossa oleva kiinteistö.

Mahdollisimman tarkan selvyyden energian tarpeesta saa, kun kysyy järjestelmän tilaajalta riittävän tarkasti, kuinka kiinteistöä käyttävät henkilöt kuluttavat sähköenergiaa. Tässä selvityksessä on huomiotava mahdolliset kylmälaitteet, lämmityslaitteet, pumppu- ja puhallinjärjestelmät ja siirrettävien laitteiden tehot ja lukumäärät. Tämän kyselyn onnistuminen perustuu siis täysin kyselijän riittävään perusteellisuuteen sekä vastaajan rehellisyyteen. Kyselyn ohella on hyvä tehdä myös alustava pistesijoituskuva kohteesta loppupiirustuksia varten. (Davidson, 2008)

Kyselyn jälkeen voidaan alkaa määrittää eri laitteiden vaatimuksia. Tällainen selvitys onnistuu parhaiten kulutuslaitteiden yksittäistarkastelulla. Toisin sanoen käydään jokainen komponentti yksittäin läpi ja kirjataan niiden tarvitsemat tehot. Kaikkien kulutuslaitteiden tehot tulee summata yhteen, jolloin saadaan laskettua järjestelmältä vaadittava huipputeho. Selvityksessä kannattaa myös huomioda, että kaikkia laitteita ei käytetä yhtä aikaisesti. Tässä vaiheessa kannattaa hyödyntää asiakkaan kulutustottumuksien selvitystä sekä yleisessä järjestelmämitoituksessa käytettäviä yhtäaikaisuus- ja tasauskertoimia liiallisen ylimitoituksen välttämiseksi. Komponenttien tehonselvityksestä kannattaa tehdä

laskentataulukko, jolla summataan tehot yhteen käyttösyklit huomioiden. Tällöin pystytään laskemaan keskimääräinen energian kulutus kohteessa. (Davidson, 2008)

Asiakkaalle tehdyssä kyselyssä ilmeni, että kiinteistön kylmälaitteet, grilli ja liesi toimivat nestekaasulla. Kohteen sisätilat tullaan valaisemaan kohdevalaisimilla. Näiden valaisimien polttimoiksi valikoitui järjestelmän tekijän ehdotuksesta 12 VDC 5 W LED-polttimet energiatehokkuuden ja maksimaalisen valotehon takaamiseksi. Asiakas on miettinyt myös ulkovalojen asennusta sisäänkäynneille ja tärkeimmille kulkuväylille, mutta ei päättänyt vielä, haluaako niitä. Myös ulkovalot on huomioitu tarveselvityksessä. Muita varmasti tarpeellisia kiinteistön kulutuslaitteita olivat televisio, uupopumppu, 2 kpl kannettavia tietokoneita, kahvinkeitin, vedenkeitin ja 2 kpl matkapuhelimien latureita. Tarveselvitykseen pitää huomioida myös mahdolliset muuttuvat kuormat, sillä pistorasioita oli enemmän kuin laskettavia laitteita. Näistä laitteista on tehty seuraava laskentataulukko, jossa määritetään kunkin kulutuslaitteen vaatima päivittäinen energia.

TAULUKKO 2. Esimerkkikohteen energiatarpeen laskentataulukko

Kulutuslaite	Teho	Aika	Kappaletta	Kulutus	Yhteensä
Matkapuhelin, laturi	5 W	6 h	2	30 Wh	60 Wh
LED-valaistus, sisä	5 W	2 h	26	10 Wh	260 Wh
LED-valaistus, ulko	5 W	2 h	10	10 Wh	100 Wh
Nostopumppu	500 W	0,5 h	1	250 Wh	250 Wh
Kannettava tietokone	40 W	3 h	2	120 Wh	240 Wh
TV	40 W	3 h	1	120 Wh	120 Wh
Kahvinkeitin	500 W	0,5 h	1	250 Wh	250 Wh
Vedenkeitin	500 W	0,5 h	1	250 Wh	250 Wh

Tämän taulukon tehot on määritetty suoraan laitteiden arvokilvistä. Jokaisen laitteen ja laiteryhmän käyttötapa on selvitetty kuulustelemalla järjestelmän loppukäyttäjien sähkön käyttötottumuksia. Näiden tietojen perusteella määritettiin sähkölaitteiston päivittäinen energiantarve. Tällainen laskenta on täysin suoraviivaista eikä esimerkin taulukossa ole huomioitu kuin yksittäisen laitteen teho, laitteiden lukumäärä ja päivittäinen käyttö. Toitettavan järjestelmän päivittäiseksi energian kulutukseksi tässä laskennassa saatiin 1530 Wh. Tämän lisäksi on huomioitava mahdollinen energian tarpeen vaihtelevuus. Tässä tapauksessa laitteiston kuormitusten muuttuviin osuuksiin varattiin 30 % ylimääräistä lasketusta vakiokuormasta. Tällöin energian päivittäinen kulutus nousi 1989 Wh:iin. Satunnaisilla vaihtelevuuksilla ei tämän jälkeen ole erityisen suurta vaikutusta rakennettavan järjestelmän toimintaan. Tämän jälkeen siirrytään järjestelmän suunnittelun kolmanteen vaiheeseen eli kohteen tuotantomahdollisuuksien määrittämiseen.

3.1.3 Tuotantomahdollisuudet

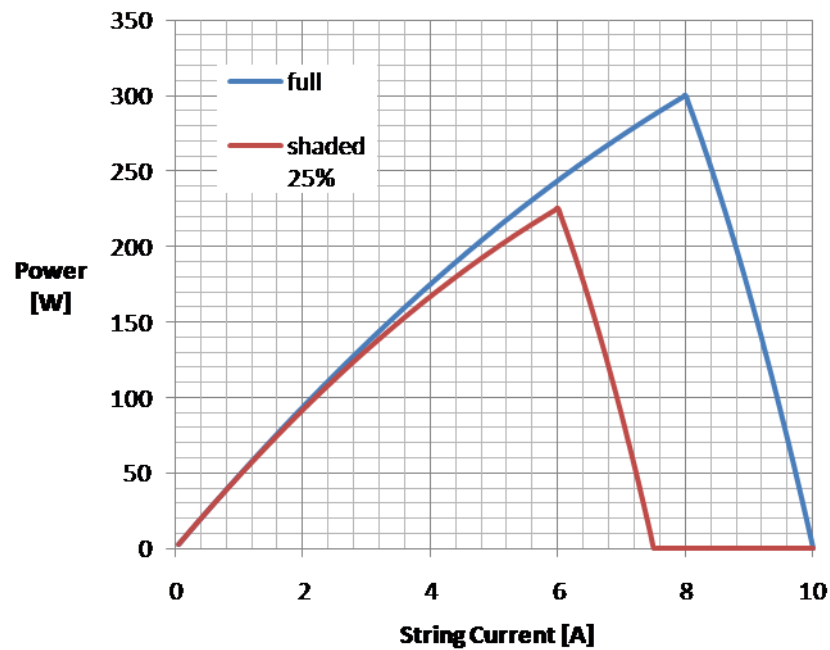
Tuotannon mahdollisuuksien selvitys on helpoin aloittaa kohteen visuaalisella tarkastuksella. Tämän toimenpiteen avulla voidaan helposti karsia pois huonoimmat paikat rakennettavalle järjestelmälle. Merkittävimmät paneelien toimintaa haittaavat ympäristötekijät ovat varjoja aiheuttavat korkeat puut ja rakennukset. Yleensä tämä varjostusongelma on ratkaistu asentamalla paneelisto rakennusten katoille. Mikäli hyviä tuotantopaikkoja ei kohteessa ole, kannattaa harkita puuston harventamista mahdollisimman aurinkoisen paikan luomiseksi. (Erat, 2008)

Toinen konkreettinen huomioitava seikka tuotannon mahdollisuuksien selvittämisessä on paneeliston suuntaaminen. Suomen pohjoisen sijainnin takia aurinkopaneelit olisi paras suunnata mahdollisimman etelään. Tuotannon maksimointi onnistuu vain, jos auringon säteily pääsee esteettömästi paneeleihin koko päivän ajan. Vuosittaisen huipputuotantoajan määrittämiseen on olemassa suure, jonka nimi on huipunkäyttöaika. Tämä suure määrittää kyseisen energiantuotantolaitoksen vuosittaisen energian tuotantomäärän suhteen sen nimellisteho. (Korpela, 2014) Huipunkäyttöaika määritetään osamäärällä

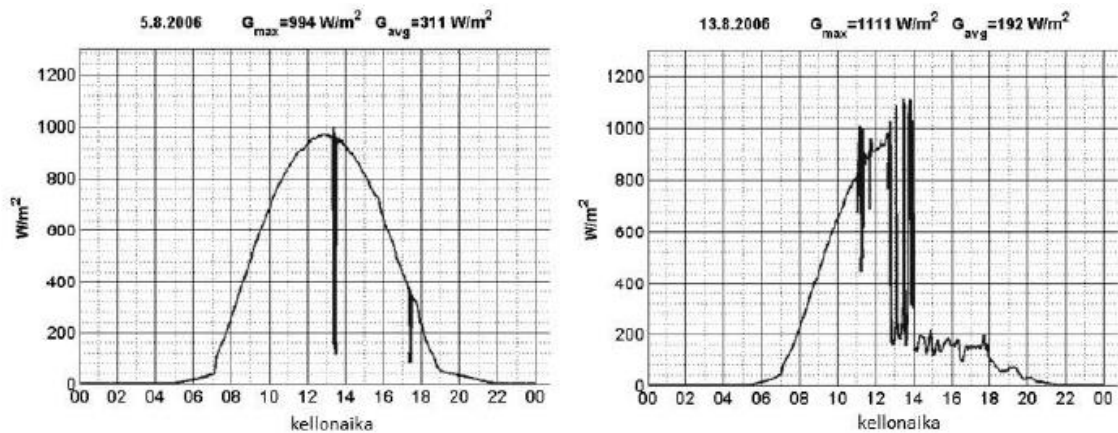
$$t_h = \frac{W_{an}}{P_{nim}}, \quad (7)$$

jossa t_h on huipunkäyttöaika, W_{an} on vuosittainen toteutunut energiantuotanto ja P_{nim} on järjestelmän nimellisteho. Tämä suhdeluku on erinomainen työkalu erilaisten energiantuotantotapojen vertailuun, sillä se kertoo, kuinka kauan voimala toimii nimellistehollaan vuoden aikana. Tampereen alueella tämä luku on PVGIS-tietokannan mukaan 850-920 h. Tämä luku on suhteellisen pieni auringon säteilyn määrän vaihtelun vuoksi. Perusvoimalaitosten esim. ydinvoimalan huipunkäyttöaika on yli 8000 h. (Korpela, 2014) Aurinkosähköjärjestelmissä tämän suureen arvoon vaikuttaa merkittävästi paneelien suuntaus sekä ilmaston olosuhteet. Vähän likaisten paneelien suorituskyky on likimain samaa luokkaa kuin täysin puhtaiden ja likaiset paneelit on helposti puhdistettavissa käyttäjän toimesta. Suomessa puhtauden ylläpitämistä edesauttavat maan sateinen ilmasto ja paneelien suuri kallistuskulma. Ympäristön aiheuttamien varjostuksien vaikutukset ovat merkittäviä ja niiden poistaminen on huomattavasti vaativampaa työtä esim. puiden kaatoa. (Boxwell, 2014) Kuvassa 6 näkyy varjon vaikutus aurinkosähköjärjestelmän hetkelliseen

tehon tuotantoon. Kuvassa 7 on pilvisen ja aurinkoisen päivän säteilyintensiteetin vertailu.



KUVA 6. Varjon vaikutus paneelin antotehoon (Solaredge)



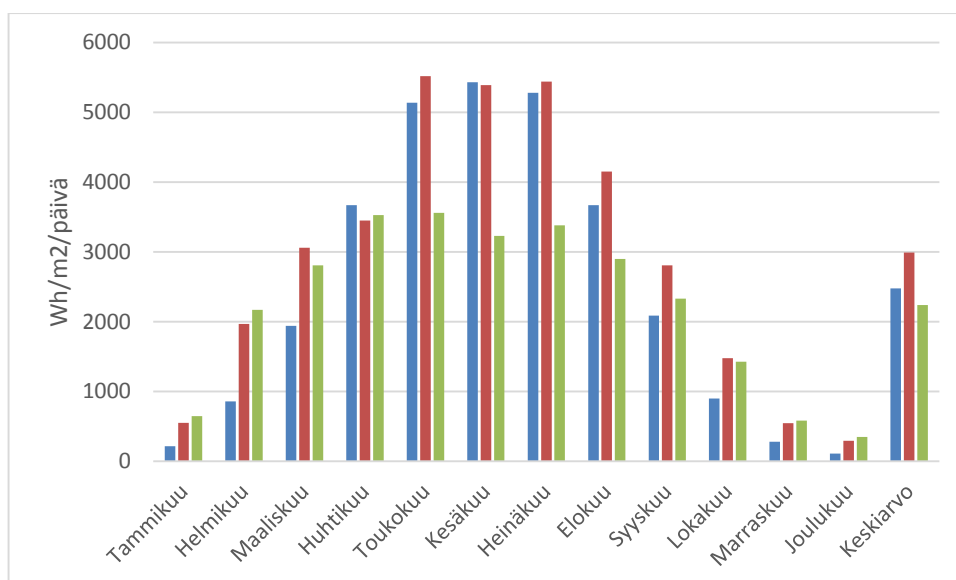
KUVA 7. Pilvisyyden vaikutus säteilyintensiteettiin (Korpela, 2014)

Kuten kuvasta 7 helposti näkee, pilvillä on erittäin suuri vaikutus päivän kokonaissäteilyn määrään. Tämä taas vaikuttaa merkittävästi päivän kokonaisenergian tuotantoon. Rakentaja ei tähän kuitenkaan voi vaikuttaa, mutta sen vaikutuksia voidaan arvioida pitkäaikaisen mittausdatan perusteella. Kuvassa kuusi esitetään yksittäisen nimellisteholtaan 300 watin $P(I)$ -käyrä kahdessa eri tilanteessa. Sininen käyrä kuvastaa varjostamattoman paneelin toimintaa ja punainen tilannetta, jossa neljäsosa paneelista on varjossa. Tämä varjo

alentaa paneelin maksimiantotehoa 25 %, sillä myös paneelin tuottama virta alenee fotoniin vaikutuksen vähetessä. Tämä johtuu paneelin rakenteesta, jossa yksittäiset kennot on kytketty sarjaan sopivan jännitetasen luomiseksi. Sarjaan kytketyissä paneelijärjestelmissä koko paneeliketjun teho laskee 25 % yhteen paneeliin kohdistuvan varjostuksen takia. Tästä syystä on erittäin tärkeää pitää paneelit puhtaina ja varmistaa etteivät puut eivätkä rakennukset luo varjoja sarjaan kytkettyihin paneeleihin. (Solaredge)

Kuukausittaisten tarkkojen säteilymäärien selvittämiseksi kannattaa kyseiselle tuotantopaikalle asentaa säteilymäärämittareita esimerkiksi kuukaudeksi. Tämän mittaustiedon avulla voidaan määrittää neliömetrille kohdistuvan säteilytehon määrä suhteellisen lyhyessä ajassa. Tällainen menetelmä on kuitenkin melko epäkäytännöllinen käytännön suunnitteluprojekteissa, vaikka se olisikin kohteelle yksilöity. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua varten riittävät samalta alueelta olevien mittausten tiedot, jolloin esimerkiksi yleisten tietokantojen hyödyntäminen suunnittelussa on kannattavaa ajan säästämiseksi. Hyvänä tietokantana voidaan pitää Euroopan alueelle keskittynyttä PVGIS-tietokantaa. Tämä yhteisön verkkosivuilta löytyy paljon tietoa säteilyintensiteettien ja tuotantoarvioiden tekemiseksi.

Esimerkkiprojektissa paneeliston parhaan asennuspaikan arviointi tehtiin nopealla aluekartoituksella. Puusto aiheutti merkittävää varjostusta mökkiä ympäröivälle alueelle, joka oli metsän keskellä. Tonttiin kuului myös metsäistä rantaviivaa, johon järjestelmän asennus olisi ollut suotavaa järven antaman säteilyn heijastuksen vuoksi. Tontin omistaja ei kuitenkaan antanut lupaa puuston karsimiseksi lainkaan, koska halusi säilyttää näkösuojansa ympäröivään alueeseen. Tästä syystä asennus suunniteltiin suoritettavaksi huvilan katolle. Huvilan katon rakenne oli kaksitasoinen ja vain alemmalle tasolle pääsi turvallisesti, joten paneelisto tulitaisiin asentamaan alemmalle kattotasanteelle. Puiden ja ylemmän kattotason vuoksi paneelistoon osuu varjoja noin tunti auringon noususta ja laskusta, mutta tämän ei katsottu olevan merkittävä häviö järjestelmän kokonaistuotantoon. Näiden seikkojen pohjalta teimme arvion tontin säteilyintensiteetistä PVGIS:n tarjoaman mittaustietokannan avulla.



KUVA 8. Kohteen säteilyintensiteettiarvio

Yllä olevassa kaaviossa on esillä esimerkkikohteen päivittäiset säteilymäärät kuukausiin jaoteltuna. Sininen pylväs edustaa maan pinnalle osuvaa säteilyenergiaa. Punainen pylväs kertoo, paljonko säteilyä osuu mahdollisimman hyvään kulmaan asennettuun paneelin energiamäärän ja vihreästä pylvästä näkee pystysuoraan asennetun paneelin vastaanottaman auringon energian. Kuvasta näkee hienosti myös asennuskulman suuren merkityksen järjestelmän tuottaman energian määrään. Asiakkaan energiatarpeiden ja kuvan kahdeksan energia-arvioiden mukaan voidaan määrittää aurinkosähköjärjestelmän paneeliston teho melko luotettavasti. (IET)

3.1.4 Mitoitus

Järjestelmän mitoitus toteutetaan sovittamalla yhteen laskelmat energiatarpeesta ja tuotannosta. Tässä vaiheessa lasketaan siis yhteen aiemmin tehtyjen taulukoiden tulokset ja etsitään näihin tuloksiin mahdollisimman hyvin sopiva paneeli. Tämän osion tarkoitus on siis tuottaa asiakkaan tarpeille mahdollisimman hyvin sopiva järjestelmä mahdollisimman edullisesti. Edullisuuden takaavat mahdollisimman tarkasti arvioitu energian tuotanto tulevaisuuden tarpeet huomioiden sekä mahdollisimman lyhyellä aikavälillä toteutettu projekti. Tämän vaiheen tärkeyttä pitää korostaa erityisen paljon, sillä riittävän energian tuotannon takaamisen lisäksi tämän vaiheen tietojen mukaan määritetään järjestelmän muut komponentit.

Järjestelmän mitoituksen lähtökohtana on taata sähköenergian riittävyys kaikkina aikoina. Tämä lähtökohta on siis sama kuin kaikkien sähköjärjestelmien suunnittelussa. Aurinkosähköjärjestelmän tuottaman huipputehon ei kuitenkaan tarvitse vastata kulutusjärjestelmän vaatimaa huipputehoa. Tärkein varmistettava asia on, että paneelit tuottavat vähintään yhtä paljon energiaa kuin järjestelmä kuluttaa päivän aikana. Järjestelmää syötetään pääasiallisesti akustosta, joten paneeliston nimellistä tehoa voidaan laskea jonkin verran maksimitehovaatimuksen alapuolelle. Järjestelmän muut komponentit tulee kuitenkin mitoittaa kestäämään vähintään huippukuorman vaatimukset. (Käpylehto, 2014)

Tärkein mitoituksessa huomioitava seikka on, että järjestelmä tuottaa riittävästi energiaa kattamaan käyttäjän tarpeet. Kesäasuntojen käyttösykli on suhteellisen yksinkertainen. Päiväaikaan tehdään asioita ulkona ja illalla tullaan sisälle, jolloin sähkölaitteiston energiasisältöä tarvitaan. Tämä tarkoittaa, että suurimpia laitteita, kuten vesipumppuja kannattaa käyttää päivällä. Tällöin sähkölaitteiston käyttö on pienimmillään ja suurten kuormien käyttö on suotavaa. Jos suurimpia sähkölaitteita käytettäisiin samanaikaisesti, jouduttaisiin paneelisto ja akusto mitoittamaan erittäin suuriksi, jolloin alkuinvestointien vaikutus nostaisi järjestelmän takaisinmaksun ajan yli sen elinajan odotteen. Hyvin tehdyn suunnittelun ansiosta tältä voidaan kuitenkin välttyä. Lisäksi aurinkosähkön hyödyntäminen tulee koko ajan kannattavammaksi erityisesti sähkönsiirtohintojen noustessa jatkuvasti. (Käpylehto, 2014)

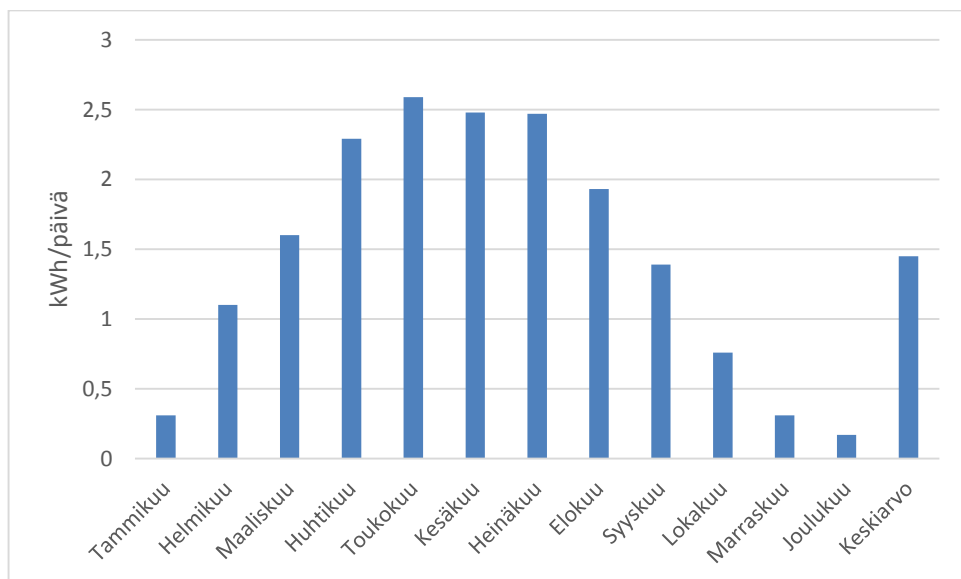
Energian käytön selvityksen yhteydessä todettiin, että vuorokaudessa tilaajan sähköenergian tarve on 1989 Wh. Kun tähän lisätään säteilymäärien selvityksessä käytetystä kaaviosta optimikulmassa olevan paneeliin neliömetrille osuvan valoenergian määrä, voidaan arvioida paneeliston pinta-ala ja teho paneelien hyötysuhteen avulla. Tässä laskelmassa tulee käyttää järjestelmän tuotannon kannalta heikointa aikaa, jotta järjestelmä tuottaisi riittävästi energiaa koko käyttö kautensa ajan. Esimerkkiprojektissa järjestelmää käytettiin toukokuusta elokuuhun, joten mitoitus tehtiin elokuun tulosten perusteella. Esimerkkiprojektin paneelien mitoituksessa oletettiin paneelin muuttavan 20 prosenttia saamastaan säteilystä sähköenergiaksi. Tästä vähennettiin vielä 5 % kaapeloinneista aiheutuvia häviöitä, jolloin hyötysuhteeksi saatiin 15 %. Paneelien haluttiin tuottavan päivittäistä kulutusta vastaava energia määrä myös elokuussa, jolloin intensiteetin arvo oli 4150 Wh/m². Hyötysuhteen ja keskimääräisen säteilyintensiteetin arvolla järjestelmän vaatima pinta-ala on

$$A_{PAN} = \frac{W_{tarve}}{W_{int} \cdot \eta_{tot}} = \frac{1989 \text{ Wh}}{4150 \text{ Wh} \cdot 15 \%} \sim 3,2 \text{ m}^2 \quad (8)$$

Yllä olevassa yhtälössä termi A_{PAN} merkitsee paneeliston laskennallista pinta-alaa, W_{tarve} tarkoittaa kulutusjärjestelmän päivittäistä energian kulutusta, W_{int} on neliömetrille osuvan säteilyenergian määrä päivässä ja η_{tot} tarkoittaa paneeliston kokonaishyötysuhdetta. Paneelien kokonaispinta-alaksi saatiin siis noin 3,2 neliometriä. Tämän neliömäärän perusteella voidaan arvioida paneelien tuottaman nimellistehon määrä. Kyseiseen laskentaan käytettiin neliömetrille Tampereelle elokuussa tulevan hetkellisen säteilytehon määrää, yllä laskettua pinta-alaa ja paneelijärjestelmälle arvioitua pinta-alaa. Näiden tekijöiden avulla paneeliston tehon tuloyhtälö on

$$P_{järj} = A_{PAN} \cdot P_{sät} \cdot \eta_{tot} = 3,2 \text{ m}^2 \cdot 950 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 15 \% = 456 \text{ W}, \quad (9)$$

jossa $P_{järj}$ tarkoittaa järjestelmän tehovaatimusta ja $P_{sät}$ on auringon säteilyn intensiteetti Tampereella kirkkaana kesäpäivänä. Tämän laskennan tulokseen on kuitenkin syytä hienoa enemmän paneelitehoa, koska laskenta suoritettiin kirkkaiden sääolosuhteiden säteilytehojen mukaisesti. Esimerkkiprojektin kohdalla tämän laskennan tulokseen lisättiin noin 30 prosenttia ylimääräistä pilvisyyden ja muiden säteilyn tehoa heikentävien tekijöiden vaikutustenvähentämiseksi. Näin aurinkosähköjärjestelmän paneelien tehoksi saatiin pyöreästi 600 W. Laskelmien oikeellisuus varmistettiin PVGIS-tietokannan avulla. Tästä varmistuksesta saatiin seuraavan kuvaajan mukaiset tulokset.



KUVA 9. Tuotantomäärä

Kuvasta 9 näkee helposti järjestelmän mitoituksen onnistuneen hyvin, sillä järjestelmä tuottaa päivittäin tarvittavan energiamäärän koko käyttökautena. Eikä jatkuva pilvisyys ei aiheuta käyttökatkoja aggregaatin ansiosta. Ilman aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa täyteen ladattu akusto voi syöttää kulutuslaitteita n. 4 päivää 1530 Wh energialla ennen aggregaatin käynnistämistä, kun akuston minimivaraus on 30 % maksimista. Suurin vaikuttava tekijä mitoituksessa oli kuormituksen epätasaisuus. Päivällä asiakas nosti vettä järvestä uppopumpulla ja illalla käytti valaistusta. Kuormituksen vaihtelevuuden takia aurinkosähköjärjestelmän nimellistehoa voitiin laskea. Toisena syynä oli, että akuston ja invertterin energian syöttökyky oli merkittävästi suurempi kuin paneelien. Myös kaapelointi oli hieman ylimitoitettu tulevaisuuden järjestelmän laajennuksien varalle. (IET)

3.2 Järjestelmän osat

Aurinkosähköjärjestelmä voidaan ajatella melko tavanomaisena energiantuotantojärjestelmänä, jossa energian tuotanto ja siirto tapahtuvat seuraavasti. Sähköenergia tuotetaan paneeleissa eli generaattorissa. Generaattorista energia siirretään säätimelle, joka toimii tässä tapauksessa muuntajana. Tämän jälkeen sähköä muutetaan jännitetasosta ja – muodosta toiseen kulutuksen tarpeen mukaisesti, kuten tavallisissa sähköverkoissa. Verkkoon voidaan lisätä jännitemuuntimia erilaisia kuormalaitteita varten. Verkkojännitteellä toimivia laitteita varten järjestelmään lisätään invertteri, joka muuttaa paneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi. Lisäksi saarekejärjestelmiin usein lisätään varavoimalähde ja/tai energiavarasto, mitkä mahdollistavat kulutuslaitteiston jatkuvan käyttämisen myös pimeään aikaan.

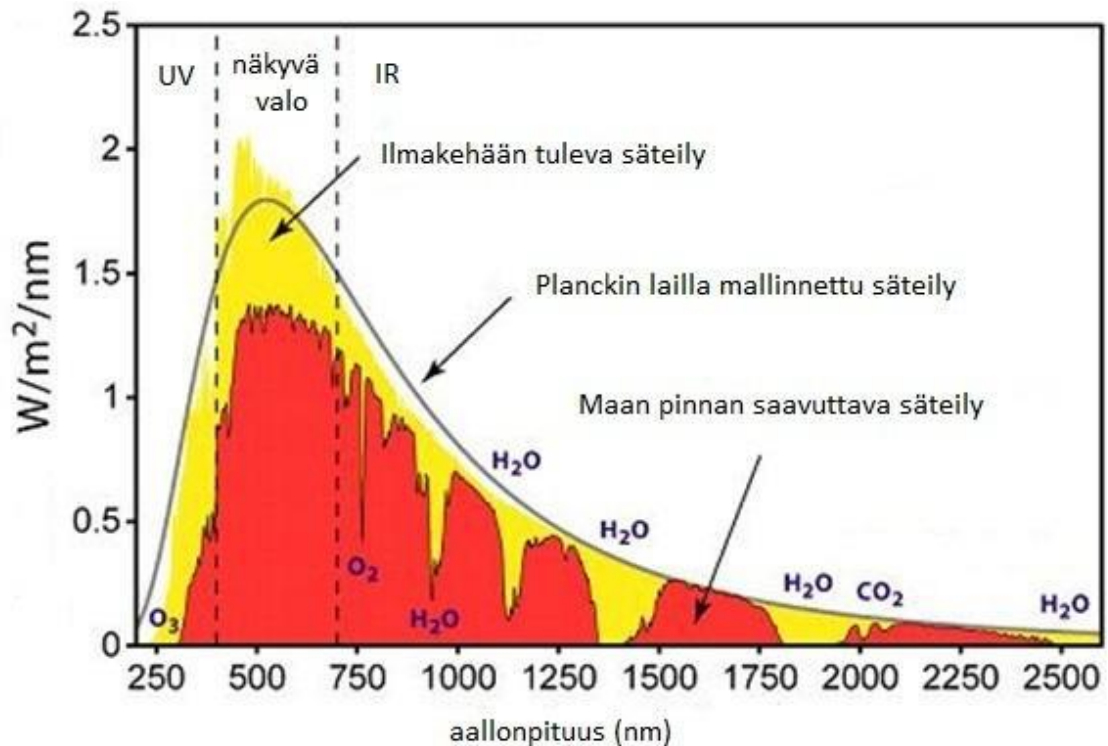
Tämän osion tarkoituksena on käydä läpi aurinkosähköjärjestelmille olennaisimmat komponentit samaan aikaan esittäen esimerkkiprojektiin tehdyt komponenttien valinnat. Ensimmäisessä osiossa käydään läpi aurinkokennon toimintaperiaate, mikä on koko aurinkosähköjärjestelmän energian tuotannon lähtökohta. Seuraavassa alaluvussa esitetään erilaiset paneelityypit ja niiden ominaisuudet. Tämän jälkeen vuorossa on järjestelmän toimintaa ohjaava laturi, jonka pääasiallisena toimintana on pitää paneeliston järjestelmään syöttämä jännite vakiona. Latureiden jälkeen siirrymme invertteihin, jotka muokkaavat paneelien tuottaman energian normaalien sähkölaitteiden käytettäväksi. Sitä seuraa akustot ja kaapelointi, joiden toimivuuden merkitys kokonaisuudessa saattaa joskus jäädä liian vähälle huomiolle. (Boxwell, 2014)

3.2.1 Aurinkokennon toimintaperiaate

Suurin osa käytössä olevista aurinkopaneeleista on valmistettu puolijohteista. Puolijohdemateriaaleista valmistettujen paneelien toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Tämän fysikaalisen reaktion havaitsi ensimmäisenä fyysikko Henrich Hertz vuonna 1887. Käytännössä valosähköisellä ilmiöllä tarkoitetaan sähkömagneettisen säteilyn vaikutusta jonkin materiaalin sähkövaraukseen. Aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä auringon säteily luovuttaa puolijohteen atomille energiaa sähkövarauksen synnyttämiseen. (Korpela, 2014) Auringon säteilyn eri aallonpituuksien energiamäärät Planckin lain perusteella laskettuna on

$$W_f = \frac{hc}{\lambda}, \quad (10)$$

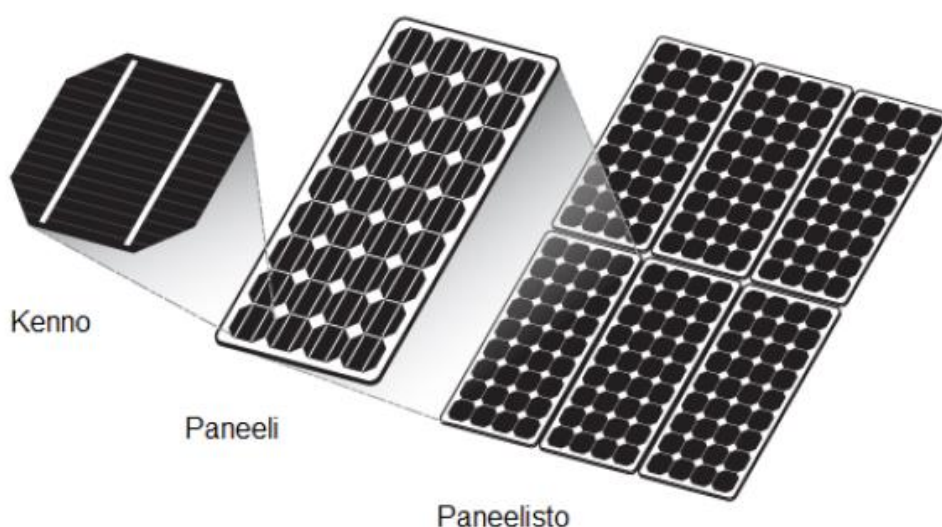
jossa W_f on fotonin energia, h on Planckin vakio, c on valonnopeus tyhjiössä ja λ on fotonin aallonpituus. Tämän perusteella voidaan siis sanoa fotonin energiasisällön olevan täysin riippuvainen sen aallonpituudesta, muiden yhtälön tekijöiden ollessa vakioita. Kuvassa 10 esitetään auringon säteilyn energian määrät aallonpituuksittain. (Tekniikan kaavasto, 2010)



KUVA 10. Säteilyn vaimeneminen ilmakehässä (Korpela, 2014)

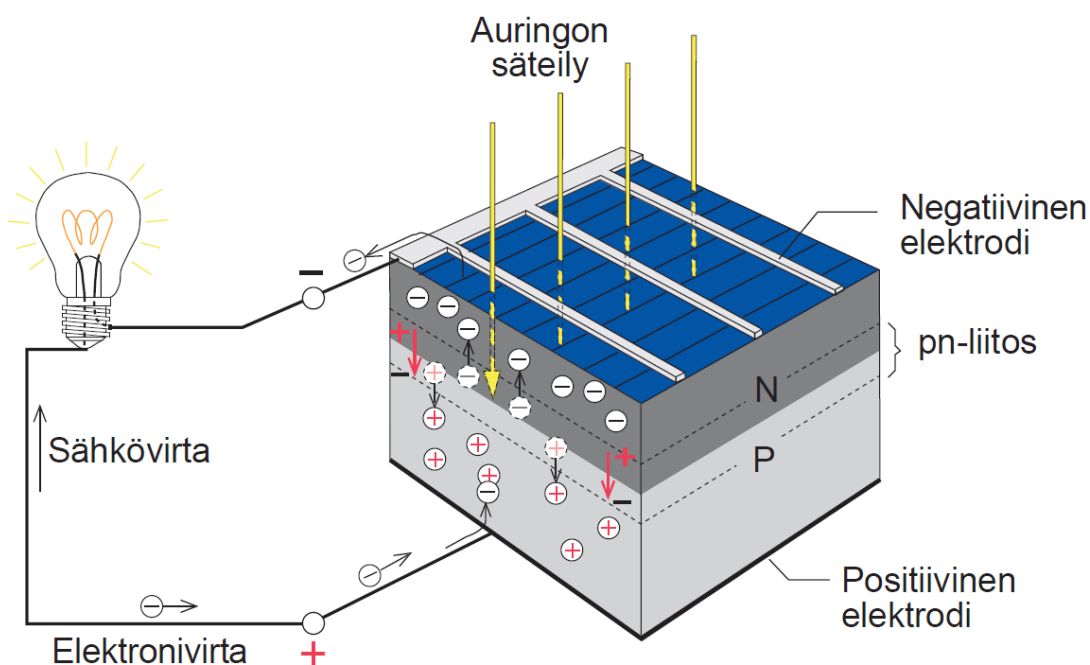
Kuvassa 11 esitetään kolmen eri säteilyn intensiteetin kuvaajat. Viiva edustaa Planckin lain avulla mallinnettua laskennallista säteilyintensiteettiä. Keltaisella piirretty kuvaaja on mitattu ilmakehään saapuva säteilyintensiteetti. Punainen kuvaaja on maan pinnalle saapuva säteily määrä. Planckin lain avulla lasketun ja ilmakehään saapuvan säteilyn kuvaajat ovat melko lähellä toisiaan, mikä todistaa Planckin lain pitävyyden. Erot johtuvat suurimmilta osin auringon aktiivisuuden vaihteluista ja Maan elliptisestä radasta. Maan pinnalle saapuvan, yleisesti hyödynnettävän, säteilyn kuvaajan arvot ovat aiempia huomattavasti pienempiä. Suurimpana syynä tähän yleiseen intensiteetin pienenemiseen on säteilyn heijastuminen takaisin avaruuteen. Selkeimmät intensiteettikuopat sen sijaan syntyvät, kun auringon säteily absorboituu ilmakehässä oleviin kaasumolekyyleihin eli lämmittää ilmaa. Kuvaajasta saatava tärkein tieto on kuitenkin parhaan säteilyintensiteetin selvittäminen. Parhaisiin teholumemiin pääsee näkyvä valo, mutta myös alhaiset aallonpituudet vaikuttavat tuotetun energian määrään merkittävästi pienen aallonpituutensa ansiosta. (Korpela, 2014)

Kokonaisuudessaan aurinkosähköjärjestelmän generaattorilaitteistoa kutsutaan paneelistikoksi. Paneeliston yksittäisen osan nimi on aurinkopaneeli, joka koostuu useista sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Aurinkosätkölaitteiston kennoston rakenteen selventämiseksi kuvassa 11 on esillä aurinkosätköjärjestelmän generaattorilaitteiston rakenne osiin jaettuna.



KUVA 11. Paneeliston jako osiin (Räsänen, 2015)

Yleisimmin aurinkokennot tehdään piistä, sillä se on suhteellisen edullinen raaka-aine ja sitä esiintyy runsaasti maan kuoressa. Sen tuotanto on erityisen jalostettua tietotekniikan sovelluksia varten. Kennon rakenteessa on kaksi kerrosta: n- ja p-kerros. N-kerros on tehty fosforiin seostetusta piistä, jonka atomirakenteessa on ylimääräisiä elektroneja. P-kerros on valmistettu booriin seostetusta piistä, jossa on niin sanottuja elektroniaukkoja. On tärkeää kuitenkin huomioda, että molempien aineiden nettovaraus on nolla. Kun nämä kaksi materiaalia tuodaan yhteen, syntyy pn-liitos. Rajapinnan eri puolilla olevat elektronit ja elektroniaukot alkavat rekombinoitua, jolloin tyhjennysalueen eri puolille syntyy nollasta poikkeava sähkövaraus. Seuraavana on kuva aurinkokennon rakenteen ja toiminnan selventämiseksi. (Lynn, 2010)



KUVA 12. Aurinkokennon rakenne ja toiminta (Paavola, 2014)

Yllä olevan kuvan tapauksessa suurin osa fotoneista absorboituu pn-liitokseen ohuen n-elektrodin läpi. Fotonien energia vahvistaa pn-liitoksen sähkökenttää, mikä vähentää tyhjennysalueella tapahtuvaa rekombinaatiota, jolloin myös aurinkokennon hyötysuhde paranee. Tällöin auringon säteily on tuottanut kennoon sähköisen varauksen, joka pystyy purkautumaan vain ulkoista virtapiiriä pitkin. Kun kennon ulkopintoihin kytketään johdemateriaali, saadaan aikaan sähkötehoa, jota voidaan hyödyntää erilaisissa kuormalaitteissa. Aurinkokennon tehoon vaikuttavat merkittävästi piin seostamiseen käytetyt materiaalit, läpäistävän pinnan läpimitta sekä kennon kiderakenne. (Lynn, 2010)

3.2.2 Aurinkopaneelityypit

Puolijohteista valmistettuja aurinkopaneeleja on useita eri tyyppejä. Kalleimpia paneeleja ovat yksikiteiseiksi tehdyt paneelit, joiden valmistaminen on melkoisen monimutkaista. Monikiteiset paneelit ovat edeltäviä jonkin verran halvempia, mutta niiden tuottama sähköenergian määrä neliometriä kohden on jonkin verran pienempi. Näitä pienemmällä hyötysuhteella toimivia amorfisia kennostoja voidaan valmistaa myös rullatavarana, mutta niiden tuottama sähköenergian määrä on melkoisen pieni aiemmin mainittuihin paneelityyppeihin verrattuna. Aloitamme selvityksen yksikiteisestä aurinkopaneelistä.

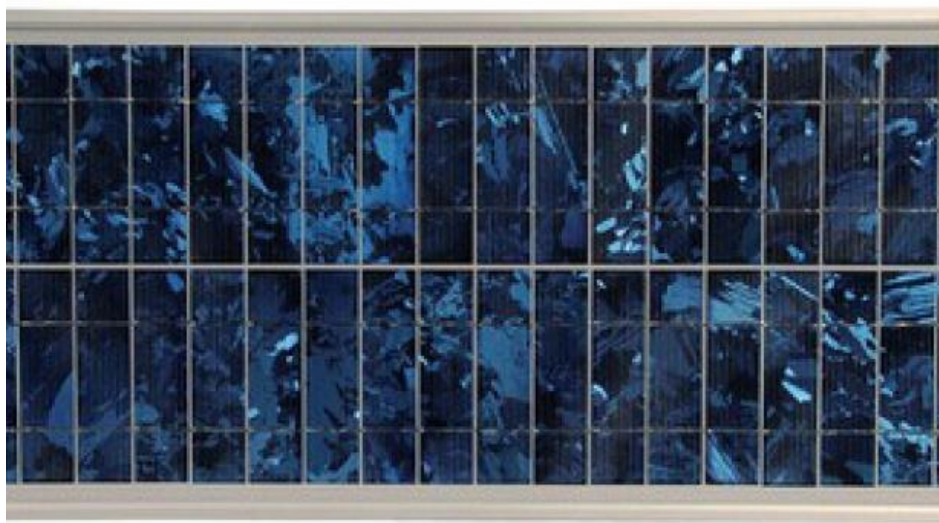
Yksikiteisestä piistä valmistetut paneelit ovat energiatehokkaimpia paneeleja tällä hetkellä. Yksikiteisen paneelin kennot valmistetaan pitkän ja erittäin tarkan puhdistus- ja jalostusprosessin avulla. Normaalisti yksikiteiset paneelit valmistetaan pyöreään tai monikulmioiseen tankoon, josta sahataan alle puolen millin paksuisia kennoja. Tämän kennotyyppin kiderakenne on erittäin tarkasti määrätty mahdollisimman hyvän lopputuloksen takaamiseksi. Tästä seuraa tietenkin muita puolijohdepaneeleita korkeampi hinta, koska sen valmistaminen vaatii tarkkaa työtä ja paljon energiaa. Tällaisen kiderakenteen etuna on muita hieman suurempi hyötysuhde. Seuraavassa kuvassa on esimerkki yksikiteisestä aurinkopaneelistä. (Erat, 2008)



KUVA 13. Yksikiteinen piiaurinkopaneeli (PVEducation)

Yksikiteistä yleisempi paneelimalli on valmistettu monikiteisestä piistä. Kyseisen materiaalin valmistaminen on yksinkertaisempaa, sillä se ei vaadi yhtä paljon työtä. Poiketen yksikiteisen paneeli valmistamisesta, jotka valmistetaan tarkalla kidejärjestyksellä, monikiteiset paneelit valmistetaan valamalla. Tällöin paneelin rakenteesta tulee merkittävästi epämääräisempi, koska atomirakenteen järjestys ei ole niin tarkasti ennalta määrätty. Ulospäin tämä näkyy enimmäkseen väri vaihteluna paneelin pinnassa. Toiminnallisesti katsottuna suurin vaikutus on hyötysuhteessa, joka on hieman yksikiteistä rakennetta alhaisempi. Kuvassa 14 on esimerkki monikiteisestä aurinkopaneelistä. (Erat, 2008)

crystalline Solar Panel



KUVA 14. Monikiteinen piiaurinkopaneeli (Civicsolar)

Kolmas yleisimmin käytetyistä kennomateriaalista on amorfinen pii. Näistä kolmesta materiaalista tämä on kaikkein halvin valmistaa, mutta myös sen hyötysuhde on merkittävästi alhaisempi kuin edellä mainittujen paneelien. Amorfiselle piille on ominaista melko täydellinen atomien epäjärjestys, mikä johtaa erittäin alhaiseen energiantuotantoon muihin paneelimalleihin verrattuna. Tämän valmistustavan etuna on sen edullisuus ja helpous. Puolijohdemateriaali vain höyrystetään jollekin alusmateriaalille, jolloin saadaan aikaan erittäin vaihteleva, mutta ohut fotoneja absorboiva rakenne. Etuna muihin malleihin verrattuna voidaan mainita myös huomattavasti korkeampi varjostuksen kestoisuus. Tällaista aurinkokennorakennetta käytetään alhaisen hyötysuhteensa takia vielä erittäin vähän, voi sille tulevaisuudessa olla käyttöä suuria pinta-aloja sisältävissä kohteissa edullisuutensa ja ohuen rakenteensa ansiosta. Nämä kennot ovat kuitenkin yleisiä pienissä vähän energiaa vaativissa laitteissa esim. laskimissa. Kuvassa 15 on esimerkki amorfi-



KUVA 15. Amorfinen piiaurinkopaneeli (China Solar)

Esimerkkiprojektiin valikoitui yksikiteisestä piistä valmistettu, nimellisteholtaan 100 watin, paneeli, joiden lukumäärä tarvittavan tehon tuottamiseksi oli 6 kpl. Kyseiseen valintaan suurin vaikuttanut tekijä oli suhteellisen pieni katon pinta-ala, mikä rajoitti merkittävästi sille tulevan paneeliston kokoa. Paneelistoa ei voitu asentaa ympäröivälle alueelle koska: A) sille ei ollut tarvittavaa rakennuslupaa sekä B) katon korkeutta alempana olevilla sijainneilla ympäröivien puiden varjostus olisi merkittävästi alentanut tuotantomahdollisuuksia. Kuvassa 16 esitetään kyseisen paneelin ulkonäkö ja sitä seuraavassa taulukossa on kyseisen paneelin olennaisimmat tiedot.



KUVA 16. Esimerkkiprojektin paneeli (Westech Solarmodules)

TAULUKKO 3. Paneelin tekniset tiedot (Westech Solarmodules)

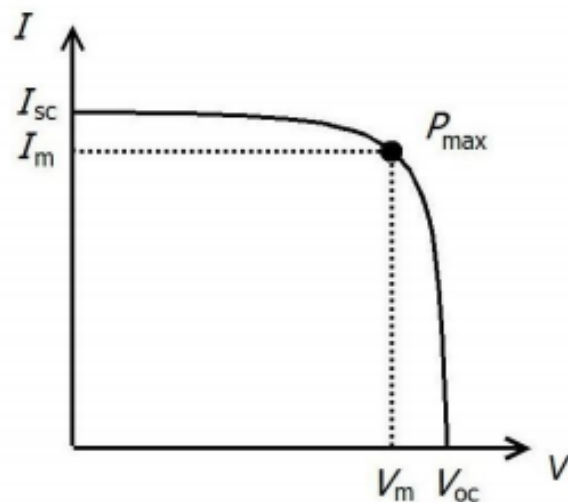
Nimellisteho	100 Wp
Nimellisjännite	18 V
Tyhjäkäyntijännite	22,8 V
Nimellisvirta	5,61 A
Oikosulkuvirta	5,75 A
Jännitekesto	1000 V
Mitat	1200x550x35 mm
Paino	9,5 kg

3.2.3 Laturit

Aurinkosähköjärjestelmässä paneelien järjestelmään syöttämää tehoa kontrolloidaan lataussäätimellä. Tämän laitteen tärkeimmät tehtävät ovat erityisesti saarekejärjestelmissä suojata järjestelmän energiavarastoa säätämällä lataustehoa ja estää akuston purkautuminen auringon säteilyn puuttuessa. Näillä säätimillä on muitakin mainitsemisen arvoisia mahdollisia ominaisuuksia, joilla voidaan merkittävästi vähentää muita asennustöitä. Ensimmäinen tärkeä asia on tilanseuranta, mikä kertoo mm. akun jännitteen arvon ja akun varaustilan. Toisena mainittakoon, että joillakin latureilla on mahdollista katkaista jännitesyöttö kulutuslaitteilta energiavaraston varauksen laskeessa liian alhaiseksi. Jotkin lataussäätimet sisältävät myös sulakkeet ja pääkytkimen, mikä vähentää ulkoisten kaapelointien ja laitteiden tarvetta. Näiden ominaisuuksien perusteella laturit voidaan karkeasti jakaa yksinkertaisiin ja monipuolisiin latureihin. (Boxwell, 2014)

Yksinkertaisimmillaan lataussäädin on vain pala elektroniikkaa, jossa on liittimet vain siihen tuleville aurinkopaneeleille ja siitä lähtevälle kulutuslaitteistolle. Tällöin kyseessä on periaatteessa vain normaali jänniteregulaattori tai pulssinleveysmodulaattori, joka säättää ulostulojännitteen halutuksi vakioksi, jolloin ainoa muuttuva suure latauspiirissä latausvirta. Yksinkertaisten lataussäädinten piiriin voidaan lukea myös sellaiset säätimet, joissa on pelkkien perusominaisuuksien lisäksi akuston jännitteen valvonta ja/tai passiivinen energiavaraston syväpurkaussuoja. Tällaisen laitteiston käyttö vaatii käyttäjältään vaateliasuutta, jotta järjestelmä toimisi autonomisella tavalla. Nykypäivänä likimain kaikki järjestelmien latausyksiköt on varustettu useammilla ominaisuuksilla. (Boxwell, 2014)

Nykyisin käytettävissä lataussäätimissä on liitäntäpaikkoja useille eri akustoille ja paneeliryhmille ja niihin on sisäänrakennettu paljon erilaisia ominaisuuksia, joita ei perusmallissa ole. Näiden säätimien etuna on juurikin niiden monipuolisuus verrattuna halvempiin malleihin. Näiden lataussäätimien ominaisuuksiin kuuluu merkittäviä ominaisuuksia, joista suurimpia avataan seuraavaksi. Modernien lataussäätimien on mahdollista seurata yksittäisten akkujen varaustilaa, jolloin niiden latausvirtoja voidaan nostaa tai laskea tarpeen mukaan. Laturi voidaan ylimitoitaa, jotta tulevaisuudessa siihen voidaan liittää uusia ryhmiä sekä tulo- että lähtöpuolelle ilman, että vanhan järjestelmän toiminta häiriintyy. Viimeisimpänä ominaisuutena on mainittava maksimitehopisteenseuranta. Tämä seuranta nostaa merkittävästi säätimen hyötysuhdetta, sillä se huomioi olosuhteiden muutokset paremmin kuin pelkkä jännitteen tasaus. Kuvassa 17 on esimerkki aurinkopaneelin virta-jännite käyrästä. (Kalogirou, 2009)



KUVA 17. Erään aurinkopaneelin ominaiskäyrä (Korpela, 2014)

MPPT-säätimen etuna on siis yllä olevan ominaiskäyrän maksimaalinen käyttö. Se mittaa jatkuvasti paneeli syöttämää tehoa ja virtaa ja valitsee niiden perusteella parhaimman mahdollisen jännitteen kulutusjärjestelmään syötettäväksi. Tämä menetelmä voi nostaa paneeliston tuottamaa tehoa jopa 20 %, sillä se vähentää merkittävästi jännitetason muutoksien tarvetta. Mainittakoon vielä, että aurinkopaneeli tuottaa parhaan mahdollisen tehon merkittävästi lähempänä tyhjäkäyntijännitettään kuin oikosulkuvirtaansa. Paneelin oikosulkuvirta ja sen tyhjäkäyntijännite ovat standardimäärytyksiä, joiden avulla eri paneelien toimintaa pystytään paremmin vertailemaan keskenään. Oikosulkuvirta määritetään oikosulkemalla paneelin ulkoiset elektrodit ja tyhjäkäyntijännite mitataan ulkoisten elektrodien ollessa ilman ulkoista virtapiiriä. (Kalogirou, 2009)

Esimerkkiprojektiin valikoimme MPPT-tekniikkaa hyödyntävän lataussäätimen. Valintaan eniten vaikutti juurikin korkeamman tehon saavuttaminen pienemmällä paneeliteholla. Lisäksi sen sisäisten suojauskomponenttien ansiosta ulkoisen kaapeloinnin määrää voitiin vähentää. Kolmantena vaikuttavana tekijänä oli sen suuri tehon kestoisuus, sillä asiakkaan toiveena oli tuotannon mahdollinen laajentaminen tulevaisuudessa. Kuvassa 18 esitetään valitun säätimen ulkonäkö ja sitä seuraavassa taulukossa on esillä sen tekniset tiedot.



KUVA 18. Esimerkkiprojektin lataussäädin (Erikoistekniikka)

TAULUKKO 4. Lataussäätimen tekniset tiedot (Erikoistekniikka)

Ulostulojännite	12/24 VDC
Maksimisyöttöjännite	150 VDC
Maksimiteho	520/1040 W
Maksimilatausvirta	40 A
Maksimikuormitusvirta	20 A
Tyhjäkäyntivirta	<50/<27 mA
Maksimiliitinkoko	25 mm ²
Hyötysuhde	97 %

3.2.4 Invertterit

Invertterit eli vaihtosuuntaajat ovat myös erittäin olennainen osa aurinkosähköjärjestelmää. Näiden laitteiden avulla paneelien tuottama tasajännite muutetaan vaihtojännitteeksi, jota likimain kaikki normaalit sähkölaitteet tarvitsevat toimiakseen. Tällöin järjestelmän kulutuslaitteita ei tarvitse valikoida suhteellisen suppeasta ja kalliista DC-komponenttien valikoimasta vaan voidaan käyttää samoja laitteita kuin tavallisissa kotitalouksissa. Tällöin järjestelmän kokonaiskustannukset laskevat. Aurinkosähköjärjestelmään asennettavan invertterin valinnassa kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti sen tehoon, tuotetun jännitteen muotoon ja virransäästöominaisuuksiin. (Davidson, 2008)

Ensimmäinen varmistettava asia valintaa tehtäessä on invertterin DC-puolen jännitetason sopivuus muuhun järjestelmään. Alle 3 kW:n vaihtosuuntaajien alin sallittu DC-jännite on normaalisti 12 VDC, mutta tätä suurempien vaatimus on korkeampi. Toisena täytyy varmistaa, että invertterin jatkuva tehonsyöttö on vähintään yhtä suuri kuin kulutuslaitteiston vaatima teho. Tässä vaiheessa on hyvä varmistaa myös, että vaihtosuuntaaja kestää myös suurten kulutuslaitteiden käynnistysvirrat, mitkä voivat olla nimellisvirtoja huomattavasti korkeampia. On tärkeä muistaa, että inverttereitä on saatavilla kaksisuuntaisina. Tällöin niiden avulla voidaan ladata akustoa ja käyttää tasajännitepuolella olevia kulutuslaitteita aurinkopaneelien toiminnan ollessa riittämätöntä. (Davidson, 2008)

Kolmas tärkeä seikka on tarkistaa laitteen tuottaman virran laatu. Näitä laatuja on kahdenlaisia: muokattua siniaaltoa ja puhdasta siniaaltoa. Muokattua siniaaltoa syöttävät vaihtosuuntaajat sopivat vain oikeastaan laitteille, joissa ei ole herkkää elektroniikkaa, kuten pumpuille ja sähköisille käsityökaluille. Puhdas siniaalto käy myös paljon elektroniikkaa sisältävien kuormien syöttöön, mutta tällaisten laitteiden hinta on usein moninkertainen perusmalliin verrattuna. (Davidson, 2008)

Viimeisin olennainen asia vaihtosuuntaajaa valittaessa, on tietää sen tyhjäkäyntivirta ja mahdolliset virransäästöominaisuudet. Tyhjäkäyntivirta syntyy invertterin sisäisten komponenttien häviöistä ja sitä kuluu aina, kun laite on päällä. Tämän arvon kannattaa siis olla mahdollisimman alhainen. Joihinkin inverttereihin on sisäänrakennettu kuormanvalvontaominaisuus, joka katkaisee syötön invertteriltä kuorman puuttuessa. Tällöin säästyy energiaa, koska myöskään tyhjäkäyntivirtaa ei kulu. (Davidson, 2008)

Esimerkkiprojektiin valikoitiin Westech Solar Energyn valmistama puhdasta siniaaltoa tuottava kaksisuuntainen vaihtosuuntaaja. Laitteen on pakko tuottaa puhdasta siniaaltoa, sillä suuri osa kiinteistössä käytettävistä laitteista sisältää runsaasti herkkää elektroniikkaa. Kaksisuuntaiselle toiminnalle oli myös tarvetta, sillä huvilan varavoimanlähteenä toimii aggregaatti, jonka avulla halutaan hätätilassa käyttää sähkölaitteistoa. Muita hyviä ominaisuuksia tälle invertterille oli sen kauko-ohjattavuus ja siihen sisäänrakennettu virransäästötila sekä monipuoliset asettelut akkujen lataamiseksi. Lisäksi laitteessa itsessään oli perussuojauselektroniikkaa mm. ylikuormitussuojat akustolle ja invertterille, oikosulkusuojaus sekä ylikuumenemissuojaus. Kuvassa 19 on kuva projektissa käytetystä vaihtosuuntaajasta ja sitä seuraavassa taulukossa esitetään sen tärkeimmät tekniset tiedot.



KUVA 19. Esimerkkiprojektin vaihtosuuntaaja (Sunlux)

TAULUKKO 5. Vaihtosuuntaajan tekniset tiedot (Sunlux)

Nimellisteho	2000 W
Huipputeho/ 5 s	4000 W
DC-jännitesyöttö	12/24/48 VDC
AC-ulostulojännite	230 VAC
AC-jännitetoleranssi	±10 %
Taajuus	50 Hz
Tehokerroin	0,9-1,0
Hyötysuhde	>92 %
Tyhjäkäyntiteho	30 W

3.2.5 Energiavarastot

Saarekkeissa toimiviin aurinkosähköjärjestelmiin on lähes pakollista lisätä energiavarasto jatkuvan ja toivotun mukaisen toiminnan takaamiseksi. Kiinteän rakennuksen akuston etuna liikkuvaan laitteistoon verrattuna on, ettei sen massan kasvu aiheuta haittaa järjestelmän energiankulutukselle. Näissä järjestelmissä akut sijoitetaan pääsääntöisesti suhteellisen vakaisiin olosuhteisiin, jotta lämpötilavaihtelut eivät aiheuttaisi ylimääräistä itsepurkautumista. Vakaiden olosuhteiden ja massan merkityksen vähäisyyden vuoksi akusto voi periaatteessa olla minkä tyyppinen tahansa, kunhan sen toiminta vastaa järjestelmän toiminnan ja asennusympäristön asettamia vaatimuksia. (Erat, 2008)

Yleensä aurinkosähköjärjestelmien akustot sijoitetaan sisätiloihin, joten olosuhteet akuille ovat melko vakaat. Tärkeää on kuitenkin muistaa, että lämpötilat näissä tiloissa saattavat pudota talvella melko alas, koska kesäkäytössä olevia rakennuksia harvemmin lämmitetään talvella. Akut on siis joko sijoitettava talveksi lämpimään tilaan tai niiden on kestettävä alhaisia lämpötiloja. Varauksen syväpurkautumisen lisäksi akut saattavat haljeta jäätyamisen aiheuttaman nesteen laajentumisen seurauksena. (Lynn, 2010)

Lisäksi energiavaraston osien on kestettävä melkoisen suuria purkausvirtoja suurehkon kuormituksen ja alhaisen jännitteen takia. Alhaisen jännitteen vaikutusta voidaan kuitenkin pienentää kytkemällä useampia akkuja sarjaan, mutta tällöin niiden sisäisen resistanssin häviöiden vaikutus kasvaa. Tämän sähköisen vastuksen kasvun vaikutuksia voidaan toki pienentää kytkemällä vastaava akkusarja ensimmäisen rinnalle, mutta tällöin energiavaraston kapasiteetti ja hinta saattavat nousta turhan korkeiksi akkujen lyhyt elinkaari huomioon ottaen. (Lynn, 2010)

Kolmas tärkeä seikka huomioitavaksi akkuja valittaessa on niiden itsepurkautuvuus ja syklisen käytön sietokyky. Uudet täyteen ladatut akut menettävät varauksestaan kuormittamattominakin noin yhden prosentin kuukaudessa. Vanhemmat akut sen sijaan voivat menettää latauksesta lämpimissä olosuhteissa jopa 10 % kuukaudessa. Loma-asuntojen kausiluonteinen käyttö huomioiden, tämä tarkoittaa, että hieman vanhemmat akut tulisi viedä talven ajaksi tilaan, jossa lämpötila pysyisi varmasti riittävän korkeana. Jos näin ei tehdä, akut todennäköisesti joutuvat syväpurkaustilaan kylmän kauden aikana. Useissa tapauksissa tämä tarkoittaa uusien akkujen ostamista. Syklistä käyttöä akkujen tulee kestää hyvin, sillä niitä puretaan ja ladataan jatkuvasti suurilla virroilla, mikä myös vaikuttaa

akun elinkaaren pituuteen. Akun elinkaareen ja sen huoltotarpeeseen vaikuttaa merkittävästi myös akun rakenne. (Lynn, 2010)

Yleisimmin aurinkosähköjärjestelmissä käytetään lyijypohjaisia akkuja, koska niiden hinta on alhainen suhteessa niiden suorituskykyyn. Lisäksi niitä on tarjolla laaja valikoima markkinoilla. Kaikkein yleisin ja halvin akkutyyppe on avoin lyijyakku, joka hengittää vapaasti. Tämän takia sen nestetasoja on valvottava ja nestettä on lisättävä säännöllisesti. Tämän huollettavuuden takia avoimien akkujen elinkaari pitenee huomattavasti. Lisäksi ne on asennettava hyvin hengittävään tilaan, koska akuista vapautuva kaasu on haitallista ihmisille ja eläimille. (NAClearenergy)

Toinen yleinen lyijyakkuryhmä on suljettu lyijyakku. Näiden akkujen elektrolyyttikaasujen ulos purkautumista hallitaan venttiilien avulla, jolloin vain vähäisiä määriä haitallisia kaasuja vapautuu ympäristöön. Nämä voidaan siis asentaa huonosti hengittäviin tiloihin eikä niihin tarvitse lisätä elektrolyyttinestettä. Tällöin akkua voidaan pitää huoltovapaana. Suljettujen akkujen haittapuolena on kertakäyttöisyys. Kun elektrolyyttineste on hävinnyt sisältä, pitää koko akku vaihtaa tai huollattaa ammattilaisella. (NAClearenergy)

Halvin huoltovapaa akku on ns. AGM-akku. Tässä rakenteessa akun elektrolyyttineste on imeytetty lasivillaan. Tämän akkutyypin käyttölämpötila-alue on verrokeistaan suurin ja sen itsepurkautuvuus on alhaisin. Tällä akkutyypillä on pieni sisäinen resistanssi, mikä alentaa latauksen ja purkauksen häviöitä. Kallein lyijyakkutyyppe on geeliakku, jossa elektrolyytti on geelimuodossa. Nämä akut kestävät parhaiten syklistä käyttö ja syväpurkausta. Geeliakut voidaan asentaa mihin asentoon tahansa. Geeliakkujen suurimpana haittana loma-asuntoasennuksissa on, etteivät ne siedä kylmyyttä, joten ne on säilöittävä talven ajaksi lämpimiin olosuhteisiin. Lisäksi näiden akkujen sisäinen resistanssi on melko suuri, mikä alentaa akun ominaista hyötysuhdetta. (NAClearenergy)

Esimerkkiprojektiin valittavien akkujen vaatimukset olivat melkoisen selkeät. Asiakkaan suurimpana toiveena oli pitää koko tuotantojärjestelmä mahdollisimman huoltovapaana. Tämä toive sulki pois avoimet akut niiden jatkuvan seurannan tarpeen vuoksi. Toinen olennainen vaatimus tilaajalta oli mahdollisimman harva huoltoväli järjestelmälle. Tämä tarkoittaa, että akuston maksimivarausta olisi hyvä hieman ylittää, jotta akuston elinkaarta saataisiin pidennettyä. Asiakkaan toiveiden mukaisesti valittiin kuvassa 20 oleva AGM-akku, jonka tekniset tiedot esitetään sen jälkeisessä taulukossa.



KUVA 20. Esimerkkiprojektin akku (Akkupojat)

TAULUKKO 6. Akun tiedot (Akkupojat)

Valmistaja	Ritar
Kapasiteetti	180 Ah
Nimellisjännite	12 V
Latausjännite	2,275 V/kenno
Sisäinen resistanssi	4 mΩ
Maksimipurkuvirta	750 A
Käyttöikäluokka	10 a

Yhteensä yllä olevia akkuja järjestelmään asennettiin 4 kappaletta riittävän suuren akuston jännitteen ja energiavaraston aikaan saamiseksi. Akuston jännite nostettiin 24 volttiin kaapeleissa tapahtuvien jännitehäviöiden pienentämiseksi. Tällöin varmistuttiin, ettei minkään laitteen syöttöjännite laske liian alhaiseksi akuston varauksen pienentyessä. Akuston kapasiteetiksi tällä jännitteellä tuli 360 Ah, mikä tarkoittaa aiemmin mainitulla jännitteellä laskettuna 8640 Wh:n energiaa. Tämä arvo on melkein kolminkertainen kohteen kahden päivän energiantarpeeseen verrattuna. Alhaisemman purkausasteen ansiosta akuston elinkaari pitenee ja järjestelmän toimintavarmuus paranee. Akuston varauksen alarajaksi määritettiin 30 % maksimivarauksesta. 1530 Wh kulutuksella tämä tarkoittaa täyteen ladatun laitteiston käyttöä neljän päivän ajan ennen aggregaatin käynnistämistä.

3.2.6 Kaapelointi

On helppo ajatella, että kaapeloinnin suunnittelulla ei ole merkittävää osaa toimivan aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa. Näin ei kuitenkaan ole, sillä juuri kaapelointi vie suurimman osan ajasta toteutusvaiheessa ja väärin suunniteltu kaapelointi saattaa johtaa erilaisten suojalaitteiden laukeamiseen, mikä alentaa huomattavasti järjestelmän tuottaman energian määrää. Ilman oikein mitoitetuista suojalaitteista kaapeleiden lämpiäminen saattaa johtaa tulipaloon ja suuriin taloudellisiin vahinkoihin. (Käpylehto, 2014)

On myös muistettava, että varsinkin järjestelmän DC-puolella käytettävä jännite on usein matala ja tehot suuret. Tällainen yhdistelmä alimitoitettulla kaapeloinnilla johtaa merkittäviin jännitteen alenemiin, mikä puolestaan alentaa järjestelmän kokonaishyötysuhdetta suuresti. Invertterin AC-puolella, normaalin verkkojännitteen piirissä, kaapeloinnin alimitoittaminen ei ole aivan niin suuri ongelma korkeamman jännitetaso-ansiosta. Yleensä saarekekäyttöiset järjestelmät ovat kuormitukseltaan pieniä, joten suuremmaksi ongelmaksi järjestelmän vaihtovirtapiirissä voi tulla suojalaitteiden ylimitoittaminen. Nämä kaapeloinnit sijoittuvat suurimmilta osin järjestelmän kulutuslaitteiden syöttöihin, joten näiden piirien suojalaitteet kannattaa mitoittaa kyseisten kuormalaitteiden nimellisvirran mukaan. Lähtökohtaisesti kaapeleiden mitoitus perustuu niiden kuormitusvirtaan ja asennustapaan. Seuraavassa taulukossa esitetään eräiden kuparikaapelikokojen suurimpia jatkuvia kuormitusvirtoja pinta-asennuksessa ja uppoasennuksessa. (Käpylehto, 2014)

TAULUKKO 7. Sallitut kuormitusvirrat erikokoisille kaapeleille (ABB, 2000)

Poikkipinta-ala	Virta uppoasennuksessa	Virta pinta-asennuksessa
1,5 mm ²	13,5 A	18,5 A
2,5 mm ²	19 A	25 A
6 mm ²	32 A	43 A
10 mm ²	44 A	60 A
16 mm ²	59 A	80 A
25 mm ²	77 A	101 A
35 mm ²	94 A	126 A
50 mm ²	114 A	152 A
70 mm ²	144 A	195 A
95 mm ²	173 A	236 A

Järjestelmän tasasähköosan kaapeloinnin mitoitus kannattaa toteuttaa laitekohtaisella menetelmällä parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Tärkeimmät huomioitavat kaapelointivälit DC-puolella ovat paneelistolta lataussäätimen kautta energiavarastolle tuleva kaapeli ja akuilta invertterille menevä kaapeli. Vaihtosähköosassa kaapelointi on melko tavallista kiinteistöjen kaapelointia, jos ei huomioida pienten kuormien kaapelikokoja alentavaa vaikutusta. Kaapelityypit valitaan asennusolosuhteiden mukaisesti. (Boxwell, 2014)

Paneelien ja akuston väliin asennettavan kaapelin tulee olla ulkoasennuskaapelia, joka kestää hyvin UV-säteilyä. Suurin tämän kaapelin poikkipinta-alaa vaikuttava tekijä on paneeliston etäisyys energiavarastosta. Toinen tärkeä huomioitava seikka tätä kaapelia suunniteltaessa on huomioida paneeliston kytkennän vaikutus vallitsevaan virtaan ja jännitetasoon. Näiden kahden väliin kytketty lataussäädin vaikuttaa myös kaapelin kokoon, sillä ennen säädintä sekä virta että jännitetaso vaihtelevat auringon säteilyn mukaan, kun taas laturin jälkeen latausjännite on vakio ja vain virran arvoa muutetaan. Tästä syystä laturille tuleva kaapeli on usein pienempi kuin siitä lähtevä kaapeli. (Boxwell, 2014)

Akuston kytkennät kannattaa toteuttaa akkuvalmistajan yhdistyspaloilla. Nämä johtimet on mitoitettu kyseiselle akulle juuri sopivaksi ja ne ovat valmiiksi sopivan mittaisia. Jos tällaisia yhdistimiä ei ole valmiiksi olemassa, tulee akuston kaapeleiden mitoitus tehdä invertterin tehon mukaisesti. Energiavarastolta invertterille tulevan kaapelin tulee olla poikkipinta-alaltaan vähintään yhtä suurta kuin akuston kytkemiseen käytetyt johtimet. Usein tämä kaapeli on kuitenkin suurempaa, sillä invertterin etäisyys akuista vaikuttaa kaapelin kokoon. Yleensä tämä kaapeli on erittäin jyrkää ja todella kallista, joten akkujen vaihtosuuntaajan välinen etäisyys kannattaa minimoida kulujen laskemiseksi. Näissä kytkennöissä voidaan käyttää normaaleja sisäasennuskaapeleita. (Boxwell, 2014)

Järjestelmän kulutuslaitteet ovat suurimmilta osin kytketty vaihtosähköosaan. Tällöin näiden laitteiden syötöt voidaan toteuttaa normaaleilla maa- ja sisäasennuskaapeleilla esimerkiksi MMJ:llä ja MCMK:lla. Verkkojännitteellä toimivien laitteiden kaapelointien jännitehäviöt jäävät myös verrattain pieniksi, joten alhaisen jännitteen riski on suhteellisen pieni. Saarekejärjestelmissä joitakin kulutuslaitteita käytetään myös tasajännitteellä. Yleensä nämä laiteryhvät ovat valaisimia, koska pienitehoisia tasavirtavalaisimia on edullisesti saatavilla useissa eri kaupoissa. Tällaisissa laitteissa kaapeloinnin poikkipinta-

alaa joutuu usein kasvattamaan pidemmillä etäisyyksillä oikeanlaisen ja turvallisen toiminnan takaamiseksi. Tästä syystä kaukana energiavarastosta sijaitsevat ryhmät kannattaa toteuttaa verkkovirralla. Kaapeleissa tapahtuvat jännitehäviöt lämpötilat huomioiden lasketaan tuloyhtälöllä

$$R = \left(r \cdot \frac{l}{A} \right) \cdot (1 + \alpha_R \cdot (T - 20)), \quad (11)$$

jossa R on kaapelin resistanssi, r on johdinmateriaalin resistiivisyys, l on kaapelin pituus, A on johtimen poikkipinta-ala, α_R on johdinmateriaalin resistanssin lämpötilakerroin ja T on johtimen lämpötila. Vakio 20 tulee yleisesti käytetystä standardilämpötilasta, joka on + 20 astetta. Tämä kaapelin resistanssin laskutapa huomioi sekä käytetyn kaapelin ominaisuudet että johtimessa vallitsevan lämpötilan vaikutuksen. Jännitteenaleneman suuruus saadaan laskemalla tämän resistanssin arvon sekä kaapelia kuormittavan virran tulo. Virran arvona on hyvä käyttää ryhmän suojalaitteen nimellisvirtaa suurimman jatkuvan aleneman arvon määrittämiseksi. (Käpylehto, 2014) Seuraavassa taulukossa on esillä esimerkkiprojektin kaapelointien jännitteenalenemat kaavan 9 avulla laskettuna.

TAULUKKO 8. Esimerkkiprojektin jännitealenemat

Kaapelointi	Pisin etäisyys	Alenema	Sallittu arvo
Paneelisto-laturi	15 m	0,43 V	0,5 V
Laturi-akusto	4 m	0,25 V	0,1 V
Akusto-inv.	1 m	0,08 V	0,1 V
Vesipumppu pr.	10 m	1,22 V	11,5 V
Sisätilapr.	8 m	0,97 V	11,5 V
Ulkovalaistus	7 m	0,46 V	0,5 V
Sisävalaistus	5 m	0,38 V	0,5 V

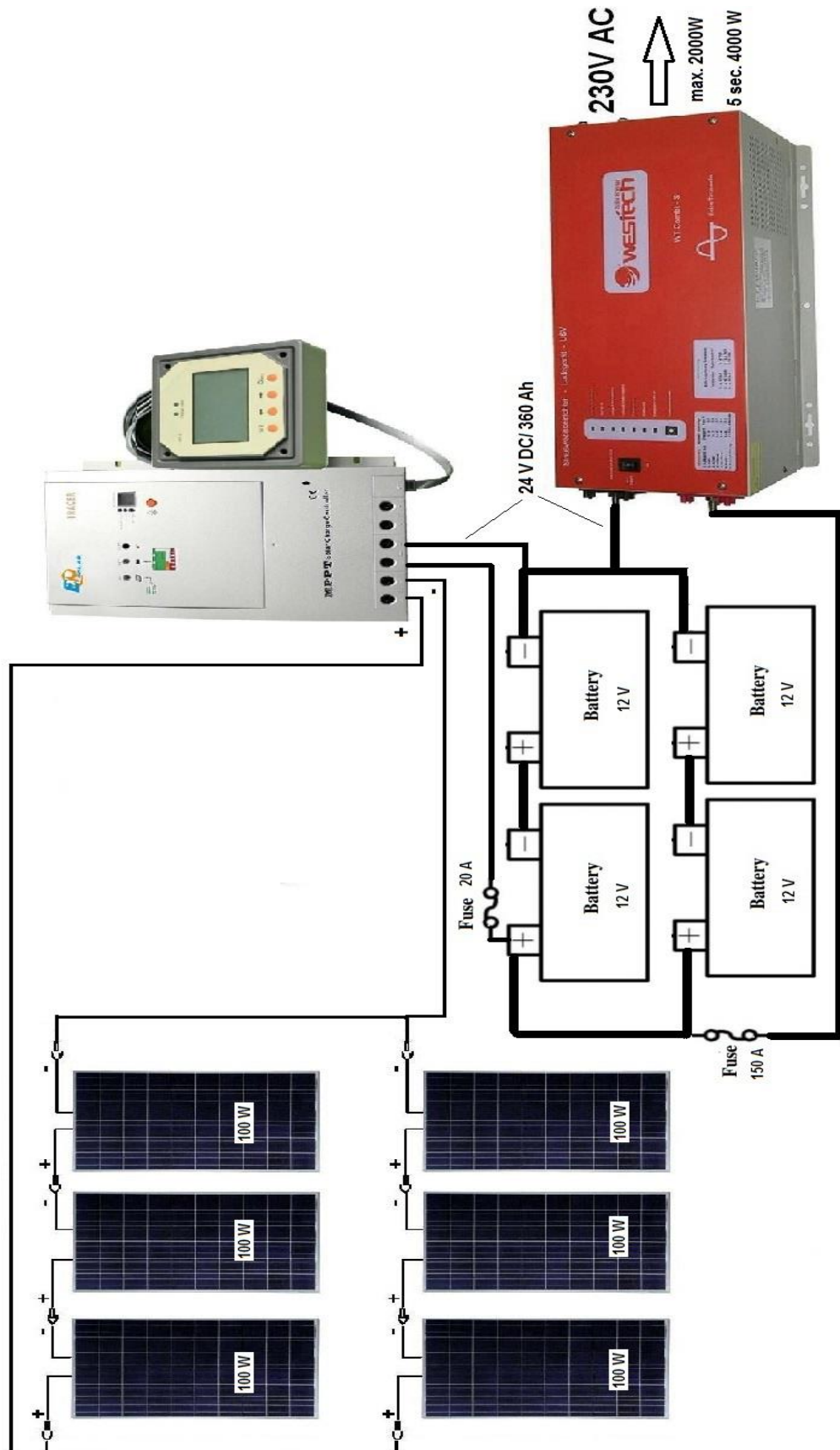
Yllä olevan taulukon laskelmissa on oletettu johtimen lämpötilan nousevan noin 50 asteeseen. Tämä lämpötila on suhteellisen korkea hyvin hengittävässä pinta-asennuksissa, mutta mahdollisia tulevaisuuden laajennuksia varten laskelmat tehtiin hieman todellista pahemmista tilanteista. Laskenta tehtiin kuparikaapeleille, joiden oletettiin toimivan suojalaitteidensa nimellisarvoilla, mikä ei tule vastaamaan normaalia tilannetta. Pistorasioiden suurimmat sallitut alenemat ovat merkittävästi suuremmat korkeamman syöttöjännitteen takia.

Normaalissa kiinteistössä kulutuslaitteiden jännitteenaleneman maksimiksi suositellaan viisi prosenttia ja laskennassa käytetty arvo tulee suoraan siitä. Laturin ja vaihtosuuntaajan sallimat alenemat ovat muita pienemmät, koska niihin sisäänrakennetut alijännitesuojaukset toimisivat muuten liian aikaisin, vaikka todellinen tilanne olisi vielä täysin normaali. Laajennusvaraksi järjestelmälle varattiin noin 30 % ja tämä näyttää toteutuneen hyvin ainakin kaapeloinnin häviöiden osalta, koska yksikään jännitteenalenema ei ylittänyt annettua raja-arvoa, vaikka laskuissa käytettiin suojalaitteiden nimellisiä virta-arvoja. Edeltävien komponentti valintojen perusteella suunniteltiin seuraavan tyyppinen kokonaisuus aurinkosähköjärjestelmän toteuttamiseksi.

3.2.7 Kokonaisuus

Huolellisen suunnitteluprosessin toivottava tulos on tilaajan vaatimukset täyttävä aurinkosähköjärjestelmä mahdollisimman edulliseen hintaan. Tässä luvussa käsitellään aiemmissa luvuissa tehtyjen tutkimusten ja komponenttivalintojen perusteella syntynyt järjestelmäkokonaisuus. Ensimmäisenä käydään läpi paneelien kytkentä ja perustelu kytkennän toteuttamiseen kyseisellä tavalla. Toisena on lataussäätimen kytkennän käsittely. Kolmantena selostetaan akustolle suunnitellun kytkennän perusteet.

Esimerkkinä toimivan järjestelmän nimelliseksi tehon tarpeeksi arvioitiin 600 W. Tämän vaatimuksen täyttämiseksi tarvitaan siis 6 kpl aiemmin käsiteltyjä paneeleja. Tällä yhdistelmällä toteutettiin kaksi 300 W:n rinnakkain kytkettyä paneelisarjaa. Paneeleja kytkettiin sarjaan, jotta niiden antama jännitetaso olisi riittävän korkea myös osittain pilvisissä sääolosuhteissa. Rinnakkaiskytkennällä pyrittiin alentamaan yksittäiseen paneelisarjaan vaikuttavan varjostuksen ja likaantumisen merkitystä. Lataussäätimeen kytkentä on yksinkertainen. Laturi muuttaa paneeleilta saapuvan jännitteen vakioksi akustoa varten. Akuille menevän virran maksimia säädetään sulakkeella, jonka koko on tässä tapauksessa 20 A, koska akkujen suurinta mahdollista latausvirtaa haluttiin rajoittaa niiden elinkaaren maksimoimiseksi. Energiavarastoon kuuluu kaksi rinnakkain kytkettyä 24 V 180 AH akkusarjaa. Tällä tapaa pystyttiin hyödyntämään laturin koko tehoalue. Rinnakkaiskytkennän tavoitteena oli pienentää akuston sisäistä resistanssia ja näin ollen vähentää siinä syntyviä häviöitä. Akusto kytkettiin suoraan invertteriin sulakkeen kautta. Sulakkeen koko määräytyi oletetun hetkellisen maksimitehon mukaan. Seuraavana esitetään kuva toteutetun järjestelmän rakenteesta.



KUVA 21. Rakennekuva esimerkkiprojektin kokonaisuudesta

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

Tässä luvussa selostetaan yleisesti aurinkosähköjärjestelmän toteuttamiseen liittyvät tärkeät käytännön yksityiskohdat. Ensimmäisenä käydään läpi järjestelmään kuuluvien laitekokonaisuuksien asentaminen. Toteuttamisen eri vaiheet käydään läpi kokonaisuus kerrallaan, jokaisen vaiheen tärkeimmät seikat huomioiden. Tätä seuraa energian tuotannon kannalta tärkeimmän osuuden toteuttaminen eli paneeliston asennus ja suuntaus. Paneelien asennuksen selostamista seuraa järjestelmän käyttöönottoon liittyvien asioiden tarkastelu. Viimeisenä esitetään esimerkkiprojektin olennaisimmat dokumentit selostukseen. Tämän luvun aiheet perustuvat pitkälti aurinkosähköjärjestelmien ja pienjänniteasennusten standardeihin sekä kokemuseräiseen tietoon.

4.1 Laitekokonaisuuksien asennus

Aurinkosähköjärjestelmän toteuttamisen järjestyksellä ei varsinaisesti ole väliä, mutta tietynlaista perusjärjestystä noudattamalla vältetään turhilta jännitetöiltä ja laitevaurioilta. Järjestelmän rakentaminen on hyvä aloittaa kulutuslaitteistosta, mikä ei saarekejärjestelmässä voi olla jännitteinen ennen energian tuotantolaitteiston kytkemistä. Tämä pätee kaikkiin sähköistystöihin, joita ei tavallisesti toteuta jännitetöinä. Kuormalaitteiston toteuttamisen yhteydessä kannattaa myös varmistaa, että kulutuslaitejärjestelmä vastaa aiemmissa suunnitelmissa olevaa järjestelmää. Tämän jälkeen voidaan aloittaa itse tuotantojärjestelmän rakentaminen.

Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa toteuttaa laitekokonaisuus kerrallaan. Tämä tarkoittaa aiemmassa luvussa käsiteltyjen komponenttien laitteistokohtaisien kytkentöjen tekemistä. Tällöin sähköiskun mahdollisuus saadaan minimoitua. Ensimmäisenä aurinkopaneelit asennetaan, suunnataan ja kytketään Auringon sijainnin asettamien vaatimusten mukaisesti. Tämä asennusvaihe käydään tarkemmin läpi seuraavassa luvussa mahdollisimman hyvän yleiskuvan luomiseksi. Muiden tuotantojärjestelmän osien asentaminen on melko normaalia sähköistystyötä. Näiden komponenttien asennusten tärkeimmät yksityiskohdat käydään läpi seuraavissa lyhyesti.

Ennen akuston asennusta kannattaa varmistaa akkujen varaustila. Jos akkujen varaustila on ennen asennusta alhainen, on syytä ladata ne täyteen niiden kunnon varmistamiseksi. Akut voi tietenkin asentaa paikoilleen ja antaa aurinkosähkön ladata niitä, mutta tällöin järjestelmään mahdollisesti asennettu viallinen akku saattaa aiheuttaa käyttökatkon järjestelmään. Akkujen lyhyen elinkaaren vuoksi niihin kannattaa merkitä myös niiden asennuspäivämäärä vaihtovälin seurannan helpottamiseksi. (Boxwell, 2014)

Akut on hyvä asentaa aina pystyasentoon tukevalle alustalle etäälle haittatekijöistä, akkujen turvallisen toiminnan takaamiseksi. Tällä tapaa niiden eliniälle annettu takuu on myös mahdollisimman hyvin varmistettu. Akkujen asennuksen yhteydessä tulee myös varmistaa, että asennustilan ilmanvaihto on riittävä akustosta vapautuvan vedyn poistamiseen. Jos näin ei ole, saattaa tilaa käyttäville henkilöille syntyä terveyshaittoja. Lisäksi akkujen asennusympäristön tulee olla lämpötilaltaan suhteellisen vakaa, jotta akkujen varaus ei purkautuisi liikaa lämpötilavaihteluiden takia. Akusto kannattaa asentaa helppokulkuiseen tilaan asennus- ja huoltotöiden helpottamiseksi. Akkujen väliset kytkennät tulee toteuttaa kaapelilla, joka kestää vähintään niiltä vaaditun kuormitus- tai latausvirran. Akuston miinusnapaan kannattaa luoda galvaaninen yhteys maahan akkujen korroosion välttämiseksi. (Davidson, 2008)

Muuntolaitteiden eli lataussäätimen ja vaihtosuuntaajan asennus kannattaa aloittaa mahdollisimman lähelle akkuja sijoittamisesta. Tällöin suurten kuormitusvirtojen aiheuttamat kaapelihäviöt alenevat huomattavasti. Ennen näiden komponenttien asennusta tulee varmistua niiden toimivan samalla jännitteellä akuston kanssa. Ilman yhteensopivaa jännitettä järjestelmä ei tule toimimaan oikein. Lataussäätimen ja invertterin asennuksessa tulee huomioida myös järjestelmässä käytettävä akkutyyppi, joka vaikuttaa erityisesti näiden laitteiden syöttämään latausjännitteeseen. (Käpylehto, 2014)

Vaihtosuuntaajan asennustapa vaihtelee laitekoon mukaan. Pienissä järjestelmissä invertterit voidaan asentaa seinälle kun taas suuremmat voidaan joutua kiinnittämään pulteilla tukevaan perusrakenteeseen. Vaihtosuuntaaja tuottaa huomattavan paljon lämpöä, joten se tulee asentaa hyvin ilmastoituihin tiloihin etäälle herkästi syttyvistä materiaaleista. Invertterin asennuksessa on myös huomioitava, että vaihtosuuntaajan täytyy olla kokonaan erotettavissa muusta laitteistosta huolto- ja korjaustöiden varalta. (Boxwell, 2014)

Yhdessäkään järjestelmässä ei yleensä ole valmista maadoitusjärjestelmää eli se pitää itse toteuttaa. Maadoituselektrodin toteuttamiseen riittää paljas kuparivaijeri, joka upotetaan maahan maakontaktin luomiseksi. Tämän vaijerin molemmat päät kytketään järjestelmän pääpotentiaalintasauskiskoon. Tähän maadoitusverkkoon tulee liittää kaikki aurinkosähköjärjestelmässä olevat suojamaata tarvitsevat laitteet. Tasasähköosaa ei yleensä tarvitse maadoittaa, mutta sen energiavaraston negatiivisella navalla on hyvä olla yhteys maahan korroosion välttämiseksi. Myös aurinkopaneelien kehikot ja paneeliston asennusteline tulee kytkeä maadoituselektrodiin, jolloin tämä rakenne toimii myös ukkosenjohdattimena turhien vaurioiden välttämiseksi. Järjestelmän vaihtosähköpuolella toimivat komponentit ovat normaaleissa sähkölaitteistoissa olevia komponentteja, joten nämä laitteet tulee myös kytkeä kiinteistön maapotentiaaliin. (D1, 2012)

Aurinkosähköjärjestelmän toteutukseen kuuluu myös erotus- ja suojalaitteiden kytkentä. Erotuskojeiden asentamisen kohdalla hyvänä lähtöajatuksena on, että järjestelmän jokainen laitekokonaisuus tulisi olla turvallisesti erotettavissa muusta järjestelmästä huolto- ja korjaustöitä varten. Erottimena voidaan käyttää erillistä lukittavaa katkaisijaa tai suojalaitetta, jolla energiansyöttö voidaan turvallisesti ja varmasti katkaista. Aurinkopaneelihin suoraan kytkettäviin osiin tulee liittää varoitus, jossa kerrotaan että laitteessa voi olla jännitteisiä osia myös erotuslaitteen ollessa auki. (SFS-600-1, 2012)

Aurinkosähköjärjestelmässä käytettävien suojalaitteiden tulee täyttää automaattiselle poiskytkennälle asetetut ehdot henkilö- ja paloturvallisuuden takaamiseksi. Vaihtosähköosassa olevien suojalaitteiden mitoitus tehdään samoin kuin normaaleissa sähköistystöissä. Suojalaitteiden tulee kestää ryhmiltä vaaditut nimellisvirrat ja estää laitteiden sekä kaapeleiden ylikuumentuminen. Lisäksi siirrettäviä kulutuslaitteita sisältävät ryhmät vaativat vikavirtasuojauksen henkilöturvallisuuden takaamiseksi. Kiinteitä laitteita sisältäviltä ryhmiltä tätä lisäsuojaa ei vaadita. (SFS-600-1, 2012)

Tasasähköosassa käytettävät komponentit ovat usein 2-luokan laitteita, jotka toimivat pienoisjännitteellä eli tässä tapauksessa alle 120 voltin tasajännitteellä. Näissä olosuhteissa toimivien komponenttien katsotaan olevan turvallisia niitä käyttäville henkilöille. Paneelien ja lataussäätimen väliin ei tarvita ylikuormitussuojaa, jos tällä välillä käytettävän kaapelin jatkuva kuormitettavuus on 1,25-kertainen paneelien syöttämään standardioikosulkuvirtaan verrattuna. Tasasähköosan muiden osien kohdalla ylikuormitussuojaus vaaditaan paloturvallisuuden takaamiseksi. (SFS-600-1, 2012)

Yksittäisten laitekokonaisuuksien valmistuttua voidaan aloittaa näiden välisten kytkentöjen toteuttaminen. Näiden kytkentöjen tekemisessä kannattaa noudattaa tietynlaista tekojärjestystä laiterikkojen välttämiseksi. Ensimmäisenä tulee varmistaa, että kaikki järjestelmässä olevat erotinlaitteet ovat auki-asennossa jännitteettömän työympäristön takaamiseksi. Erityistä varovaisuutta tulee noudattaa akkujen ja paneelien kytkennässä, niissä olevan sisäisen sähkövarauksen takia. Järjestelmän paneelit kannattaa peittää riittävän paksulla peitteellä, jotta niiden tuottaman sähköisen energian määrä olisi mahdollisimman alhainen paneeleja kytkettäessä. Kytkennät kannattaa aloittaa lataussäätimen lähtöpuolelta. Ensimmäisenä tehdään liitokset laturin ja akuston välille. Tämän jälkeen kytketään vaihtosuuntaaja akustoon. Sitten liitetään paneeleilta tuleva kaapeli lataussäätimeen. Viimeisenä kytketään kulutuslaitteisto tuotantojärjestelmään. Näillä toimenpiteillä järjestelmä on saatettu toimintavalmiiksi mahdollisimman turvallisesti. (Käpylehto, 2014)

4.2 Paneeliston asennus

Tässä luvussa käsitellään aurinkosähköjärjestelmän paneelien asennuksiin liittyvät pääkohdat. Mahdollisimman suoran, esteettömän ja pitkäaikaisen auringon säteilyn saaminen on järjestelmän energian tuotannon kannalta tärkein seikka. Paneeliston asennuskulmaa säätämällä siihen osuvan säteilyn kulma muuttuu, mikä taas vaikuttaa suoraan saatavan tehon määrään. Paneelisto tulee sijoittaa varjostamattomalle paikalle oikein suunnattuna, jotta sen tuottama energian määrä olisi mahdollisimman suuri. (Boxwell, 2014)

Paneelien asennuskulman suuruus määräytyy vuodenajan ja aurinkosähköjärjestelmän sijainnin mukaan. Tämä johtuu Auringon suhteellisen sijainnin muutoksista, jotka vaikuttavat sen säteilyn tulokulmaan. Toisin sanoen kesällä Aurinko on huomattavasti korkeammalla kuin talvella. Auringon säteilystä saatava energia on suurimmillaan, kun se osuu paneelien pintaan kohtisuorasti. Suomen leveysasteilla paras kallistuskulma vaihtelee välillä 30-90 astetta vaakatasoon nähden riippuen vuodenajasta. Pienimmällä kallistuksella saadaan paras sähköntuotto kesällä, kun taas talvella paneelien tulisi olla likimain pystysuorassa. Tampereella keskimääräisesti paras vuotuinen energiantuotanto saadaan 42 asteen kulmalla, jos kallistusta ei jatkuvasti muuteta. Alle 30 asteen kulmaan asennetut paneelit tuottaisivat kesä- ja heinäkuussa kaikkein eniten energiaa. Näin pieniä asennuskulmia kuitenkin vältetään, koska ne keräävät helposti likaa ja pölyä paneelien pinnoille alentaen järjestelmän tuotantokykyä. (Erat, 2008)

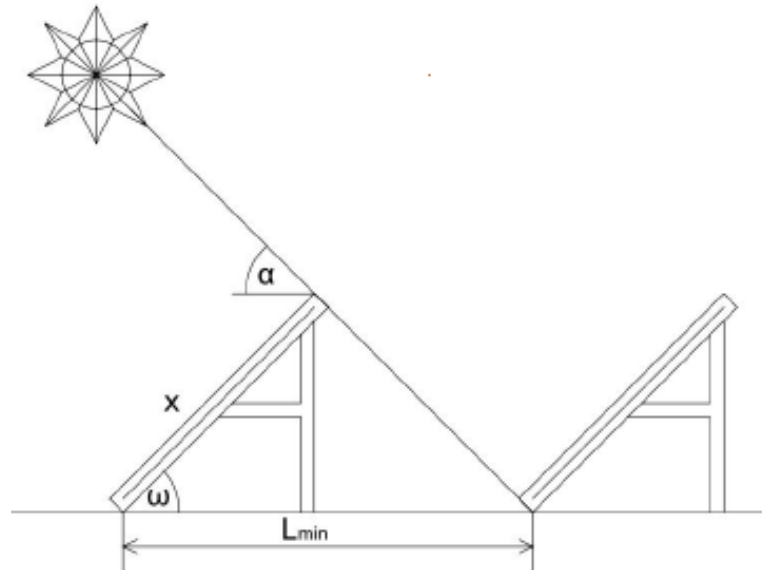
Suomen Pohjoisesta sijainnista johtuen paneelisto tulisi suunnata mahdollisimman etelään maksimaalisen suoran säteilyenergian talteen ottamiseksi. Päivän aikana Auringon liikkua idästä länteen auringon säteily osuu parhaiten juuri etelään osoittaviin kappaleisiin, koska tällöin säteilyn vaikutus on mahdollisimman suora. Auringon atsimuuttikulma muuttuu jatkuvasti päivän aikana, joten optimoidun kallistuskulman saavuttaminen on tärkeämpää sen pidemmän muutosvälin takia. Aurinkopaneelien toimintaa voidaan kuitenkin tehostaa seurantalaitteilla. (Davidson, 2008)

Yleensä aurinkopaneelit asennetaan kiinteästi paikalleen, koska se on yksinkertaisin ja edullisin toteutustapa. Tällöin osa Auringon päivän aikana säteilemästä energiasta menee hukkaan, koska tulokulma vaihtelee melko paljon. Tämän hukkaan menevän energian hyödyntämiseksi paneelit voidaan asentaa seurantalaitteille mahdollisimman suuren energiamäärän saavuttamiseksi. Näitä laitteita on useita erilaisia ja ne voidaan jakaa kahteen kategoriaan. Yksiakselin seurantalaitte seuraa aurinkoa joko Itä-Länsi suunnassa tai sitten se säätää paneeliston kallistuskulmaa Auringon sijainnin mukaisesti. Toinen kategoria on kaksiakseliset seurantalaitteet. Nämä laitteet seuraavat Aurinkoa sekä atsimuuttikulman että kallistuskulman mukaisesti, jotta säteilyn tulokulma olisi mahdollisimman kohtisuora. (Lynn, 2010)

Parhaimmillaan näiden luvataan lisätä tuotetun energian määrää jopa 60 %:a. Nämä laitteet vaativat toimiakseen energiaa, joten käytännössä lisäenergian tuotanto jää noin 30 prosenttiin. Seurannan käytössä on myös huomioitava Suomen Pohjoinen sijainti, minkä takia hajasäteilyn määrä on suhteellisen suuri. Myös tämä yksityiskohta heikentää seurantalaitteiden kannattavuutta. Lisäksi pitää muistaa, että lisälaitteiden käyttö alentaa järjestelmän hyötysuhdetta ja huoltovapautta sekä korottaa alkuinvestointeja. (Erat, 2008)

Varjostuksien minimoimiseksi paneelit kannattaa yleensä sijoittaa katolle. Tällöin ei tarvitse myöskään käyttää tontille kaavoitettua ylimääräistä rakennuspinta-alaa. Toinen hyvä asennuspaikka on rakennuksen seinä, mutta tällöin tulee varmistua, etteivät rakennuksen kattorakenteet aiheuta varjostusta paneeleille. Ympäristöön rakennetun paneeliston ongelmat ovat moninaisemmat. Ensinnäkin lupa tällaisen rakentamiseen tulee tarkastaa kaavoituksesta vastaavalta viranomaiselta. Toiseksi varjoja aiheuttavien tekijöiden määrä kasvaa asennuskorkeuden laskiessa. Tässä tapauksessa parhaan lopputuloksen saa todennäköisesti ranta-asennuksella, jolloin veden pinnan heijastama säteily tehostaa paneelien toimintaa. (Käpylehto, 2014)

Varjostuksien vaikutuksia tulee miettiä myös paneeliston toteuttamisen yhteydessä. Eri-tyisesti suurempia järjestelmiä rakennettaessa paneelit joudutaan usein sijoittamaan useampiin riveihin, jolloin edessä olevat rivit aiheuttavat varjoja niiden takana oleville riveille. Kuten jo aiemmin mainittiin, varjostuksen aiheuttamat ongelmat ovat erityisen haastavia sarjaan kytketyille paneeliketjuille. Paneelirivien minimietäisyyden laskemisen periaatetta selvennetään seuraavan kuvan mukaisella tilanteella. Kyseisestä tilanteesta on tehty kaavan 11 mukainen yhtälö.



KUVA 22. Paneelien tuottama varjostus (Isojunno, 2014)

$$L_{min} = x \cdot \cos \omega + (x \cdot \sin \omega) \cdot \tan(90^\circ - \alpha) \quad (11)$$

Kaavassa 11 L_{min} on paneelirivien vähimmäisetäisyys, x on käytetyn paneelin pituus, ω on paneeliston kallistuskulma ja α on Auringon säteilyn tulokulma. Tämän yhtälön käytössä tulee huomioida, että se perustuu puhtaasti trigonometriaan eli arvoksi tulee aina vähintäänkin käytetyn paneelin pituus. Etuna tässä tavassa laskea on, että se asennusalueen kaltevuuden muutokset eivät vaikuta laskennan tuloksiin.

Näiden seikkojen lisäksi on muistettava lämpötilan vaikutus paneelien hyötysuhteeseen. Lämpötilan nousu heikentää pn-liitoksen sähkökenttää, jolloin myös kennon tuottama maksimiteho alenee. Tästä syystä paneelien väliin tulee jättää aina pieni ilmaväli ilmanvaihtoa varten. Lisäksi on varmistuttava, että myös paneelin takapuolella oleva ilma vaihtuu riittävästi. Tästä syystä paneeleja ei koskaan tule asentaa suoraan rakenteeseen, vaan ne kiinnitetään rakenteeseen tulevaan asennuskehikkoon. (Lynn, 2010)

4.3 Järjestelmän käyttöönotto

Ennen järjestelmän käyttöönottoa, sille tulee tehdä käyttöönottomittaukset järjestelmän turvallisen toiminnan varmistamiseksi. Käyttöönottotarkastuksen tarkoituksena on riittävässä määrin selvittää, että toteutettu sähkölaitteisto täyttää sähköturvallisuuslaissa sille asetetut turvallisuusvaatimukset. Sähköturvallisuuslain mukaan sähkölaitteiden ja –laitteistojen suunnittelun, rakentamisen, korjausten ja huollon toteutus on tehtävä niin, että niistä ei aiheudu vaaraa henkilöille, terveydelle eikä omaisuudelle. Niiden toiminta ei saa aiheuttaa kohtuuttomia sähköisiä tai sähkömagneettisia häiriöitä ympäristölleen. Kyseisten laitteiden ja laitteistojen toiminta ei myöskään saa liian helposti häiriintyä ympäröivistä sähkö- ja magneettikentistä. (Sähköturvallisuuslaki, 1996)

Käyttöönottotarkastuksesta pitää laatia tarkastuspöytäkirja haltijan käyttöön. Tähän pöytäkirjaan tulee merkitä kohteen yksilölliset tiedot, selvitys määräysten ja säädösten täytymisestä, yleinen kuvaus tarkastuksista sekä tarkastusmittauksista saadut tulokset. Tarkastuksen toteuttajan tulee allekirjoittaa tämä pöytäkirja. Tätä pöytäkirjaa ei tarvitse tehdä nimellisjännitteeltään alle 50 VAC tai 120 VDC sähkölaitteistojen asennuksista. Aurinkosähköjärjestelmän verkkojännitteellä toimivasta vaihtosähköosasta tulee siis tehdä käyttöönottopöytäkirja. Tasasähköosasta tehdyt tarkastukset on hyvä liittää tähän pöytäkirjaan mahdollisimman eheän kokonaisuuden luomiseksi. (KTMp/517, 1996)

Käyttöönottotarkastuksen tekijän täytyy olla tähän tehtävään tarpeeksi ammattitaitoinen sähköalan ammattihenkilö. Tarkastuksissa käytettävien mittareiden tulee olla turvallisia ja kyseiseen käyttötarkoitukseen sopivia. Nämä ehdot täyttämällä varmistutaan tarkastusten aikaisesta sähkötyöturvallisuudesta sekä mittaustulosten luotettavuudesta. Tarkastusten aikana havaitut virheet ja puutteet on korjattava, tarkistettava ja dokumentoitava. Tarvittavien korjausten jälkeen pöytäkirja on valmis. (D1, 2012)

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastukset jakautuvat siis kahteen ryhmään: vaihtosähköosan tarkastuksiin ja tasasähköosan tarkastuksiin. Vaihtosähköosaan tehtävät tarkastukset toteutetaan standardin SFS 6000 luvun 61 mukaisella tavalla. Toisin sanoen vaihtosähköosan käyttöönottotarkastukset tehdään samalla tapaa kuin muissakin verkkojännitteellä toimivissa järjestelmissä. Tasasähköosaan tehtävät käyttöönoton tarkastukset ovat lähtökohtaisesti samat kuin vaihtosähköosan muutamia poikkeuksia, esim. aurinkopaneeleita, lukuun ottamatta. (SFS-600-1, 2012)

Yleisesti käyttöönottotarkastus jaetaan neljään eri osaan: aistinvarainen tarkastus, mittaukset, toiminnalliset kokeet ja dokumentointi. Aistinvaraisessa tarkastuksessa varmistetaan visuaalisesti rakennettavan sähkölaitteiston turvallisuusvaatimusten täyttymisestä. Mittauksilla täydennetään aistinvaraisia tarkastuksia mm. varmistamalla suojauslaitteiden toimivuus. Toiminnallisilla kokeilla varmistetaan, että jokainen sähkölaite ja sähkölaitteiston osa toimii niin kuin niiden kuuluu. Tarkastuksen dokumentointiin kerätään aiemmin mainittujen tarkastusten tulokset. Sähköturvallisuuden asettamien vaatimusten täytyessä tämä asiakirja luovutetaan laitteiston haltijalle. (SFS-600-1, 2012)

Aistinvaraista tarkastusta tulee tehdä koko laitteiston rakentamisen ajan ja havaitut puutteet kannattaa korjata mahdollisimman pian. Asennuksissa käytettävien tarvikkeiden ja laitteiden osalta tulee varmistua niiden sopivuudesta asennukseen. Lisäksi pitää tarkastaa, että ne ovat turvallisuusvaatimusten mukaisia. Aistinvaraiseen tarkastukseen kuuluu myös laitteiden ja kaapeleiden perussuojauksen kunnon tarkastus. Laitteiden koteloiden tulee olla ehjiä ja kaapeleiden eristysten yhtenäisiä. Paloturvallisuuden takia varmistetaan, että lämpöä tuottavien laitteiden etäisyydet ovat ohjeiden mukaiset. Lisäksi tarkistetaan, etteivät kaapeliläpiviennit alenna rakenteiden paloteknistä luokkaa. Visuaalisesti varmistetaan myös suunniteltujen kaapelikokojen ja-reittien käyttö, jotta johtimien kuormitettavuus pysyisi standardin mukaisena. Asennettavien kaapeleiden ja laitteiden kotelointiluokan sopivuus asennusolosuhteisiin tulee tarkastaa. Myös suoja- ja erotuslaitteiden suunnitelmanmukaisuus tulee varmistaa. (SFS-600-1, 2012)

Visuaalisesti varmistetaan käytettyjen johdinvärien vastaavan vaatimuksia. Erityisesti suojajohtimien ja nollajohtimien tulee olla selvästi tunnistettavissa. Keskuksissa ja muissa liitántäpaikoissa pitää olla riittävät merkinnät virtapiiriin ja suojalaitteen tunnistamiseksi. Liitoksiin käytettyjen liittimien ja johtimien tulee olla yhteensopivia. Liitospaikat on oltava paikoissa, joihin pääsee käsiksi testaus- ja huoltotöitä varten myös valmistuksen jälkeen. Lisäksi tulee varmistaa, että sähkölaitteiden sijoittaminen ei estä niiden käyttö- tai huoltotöiden tekemistä turvallisesti. (SFS-600-1, 2012)

Sähkömagneettisen yhteensopivuuden toteaminen tehdään aistinvaraisella tarkastuksella. Tämä yhteensopivuus todetaan varmistamalla, että rakennettu laitteisto on rakennettu TN-S-järjestelmäksi, jossa maadoitukset on toteutettu oikein häiriösuojauksen kannalta. Kaapelit tulee valita ja asentaa niin, etteivät ne aiheuta häiriöitä muihin kaapeleihin. Lisäksi laitevalinnoissa tulee huomioida asennusympäristö. (D1, 2012)

Visuaalisten tarkastusten jälkeen aloitetaan toteutetun järjestelmän mittaukset, joiden avulla varmistetaan laitteiston turvallinen toiminta. Näiden testien yhteydessä täytyy myös varmistaa, että jännitettä ei ole normaalisti jännitteettömissä osissa kuten potentiaalintasauskiskoissa. Tällaiset kosketusjännitteet syntyvät yleensä virhekytkentöjen seurauksena. On aina varmistettava, että mitattava järjestelmän osa on täysin valmis ennen kuin se testataan. Lisäksi ennen mittauksien aloittamista tulee varmistaa, että käytettävä mittalaite on sopiva kyseisen laitteiston tarkastamiseen.

Ensimmäisenä testataan laitteistossa olevien suojajohtimien jatkuvuus. Eli tarkastetaan piirien viimeisten laitteiden suojajohtimien resistanssit. Tällä tapaa varmistutaan, että ainakin piirin suojajohtimien liitokset ovat kunnossa. Yleensä tämän resistanssin sallittuna maksimiarvona on 1Ω . Suojajohtimien tarkistamisen jälkeen varmistetaan asennusten jännitteisten osien olevan erillään maapotentiaalista. Eristysresistanssimittauksella todetaan, ettei jännitteisiä johtimia ole kytketty suojajohtimeen. Tämä testin avulla tarkistetaan myös laitteiden ja kaapeleiden eristysmateriaalien kunto. Näissä mittauksissa käytetään suhteellisen suuria tasajännitteitä, mitkä saattavat vahingoittaa elektroniikkaa sisältäviä laitteita tai laukaista piireissä olevia ylijännitesuojia. Tästä syystä mittausjännite tulee aina asettaa testattavalle piirille sopivaksi. (D1, 2012)

Eristysresistanssimittausten jälkeen todetaan syötön automaattisen poiskytkennän toiminta. Tämä on ensimmäinen mittaus, jonka toteuttamiseen jännitesyötön tulee olla päällä. Automaattisen poiskytkennän vikasuojauksen vaatimusten täyttymiseen on kaksi vaihtoehtoa. Ensinnäkin viasta johtuvan vaarallisen kosketusjännitteen tulee kytkeytyä pois riittävän nopeasti. Toisena vaihtoehtona on rajoittaa vikatilanteen aiheuttama kosketusjännite vaarattomaan arvoon. Helpoin tapa todeta piirin automaattisen poiskytkennän vaatimusten mukainen toiminta on mitata jokaisen ryhmän kauimmainen laite, jonka oikosulkuimpedanssi on luonnollisesti piirin suurin. (SFS-600-1, 2012)

Automaattisen poiskytkennän toiminnan varmistamisen jälkeen todetaan vikavirtasuojien toiminnan vaatimustenmukaisuus. Tämän testaus aloitetaan testipainikkeen toiminnan varmistamisella. Tämän lisäksi tulee varmistaa vikavirtasuojan toimivan enintään nimellisvirrallaan. Luotettavimman tuloksen tästä mittauksesta saa tekemällä testi vikavirran nousevalla vikavirran arvolla. Tämän jälkeen todetaan järjestelmän napaisuus, jotta kytkinlaitteita ei ole kytketty nollajohtimeen. Lisäksi kolmivaihejärjestelmissä tulee varmistaa vaiheiden oikea kiertosuunta. (SFS-600-1, 2012)

Yllä mainittujen testausten ohella aurinkosähköjärjestelmiin tulee tehdä muitakin tarkastuksia. Vaihtosähköosan lisäksi valosähköisissä järjestelmissä pitää tehdä visuaalinen tarkastus tasasähköosalle samalla periaatteella. Erityistä huomiota tulee kiinnittää tasasähköosassa käytettävien komponenttien kotelointiin, sillä niiden luokkavaatimuksena on IP33. Lisäksi tulee varmistaa, että ylijännitteelle mahdollisesti altistuvat osat on varustettu ylijännitesuojilla eikä järjestelmästä aiheudu sähköiskun vaaraa käyttäjälleen. Vaihto- ja tasasähkö osien komponenttien tunnusten ja merkintöjen tulee olla selkeästi eroteltavissa. (D1, 2012)

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönoton mittaukset ovat pitkälti samanlaisia normaalien järjestelmien kanssa joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Suojajohtimien jatkuvuus ja eristysresistanssien arvot tulee testata myös tasasähköosasta. Eristysresistanssien mittauksissa on erittäin tärkeää huomioida eri komponenttien jännitteen kestoisuus. Napaisuuden testaus on tasasähkölaitteissa erittäin tärkeää oikean toiminnan kannalta. Näiden normaalien testien lisäksi paneelistolle pitää tehdä kaksi tarkistusmittausta paneeliketjuista. Paneeliketjuilta tulee mitata niiden tyhjäkäyntijännite ja oikosulkuvirta. Tämän mittauksen tarkoituksena on varmistaa, että paneelien toiminta vastaa niille ilmoitettuja nimellisarvoja. (D1, 2012)

Visuaalisten ja toiminnallisten testien jälkeen tarkastuksesta pitää tehdä tarkastuspöytäkirja laitteiston haltijalle. Tähän pöytäkirjaan tulee merkitä kohteen yksilöivät tiedot, selvitysrakennetun sähkölaitteiston standardienmukaisuudesta, yleiskuvaus tarkastuksissa käytetyistä menetelmistä ja tarkastuksista ja mittauksista saadut tulokset. Järjestelmän koko ja monimutkaisuus luonnollisesti edellyttävät eri laajuisia pöytäkirjoja, mutta niihin merkittävät mittaustulokset ovat lähtökohtaisesti samat. (D1, 2012)

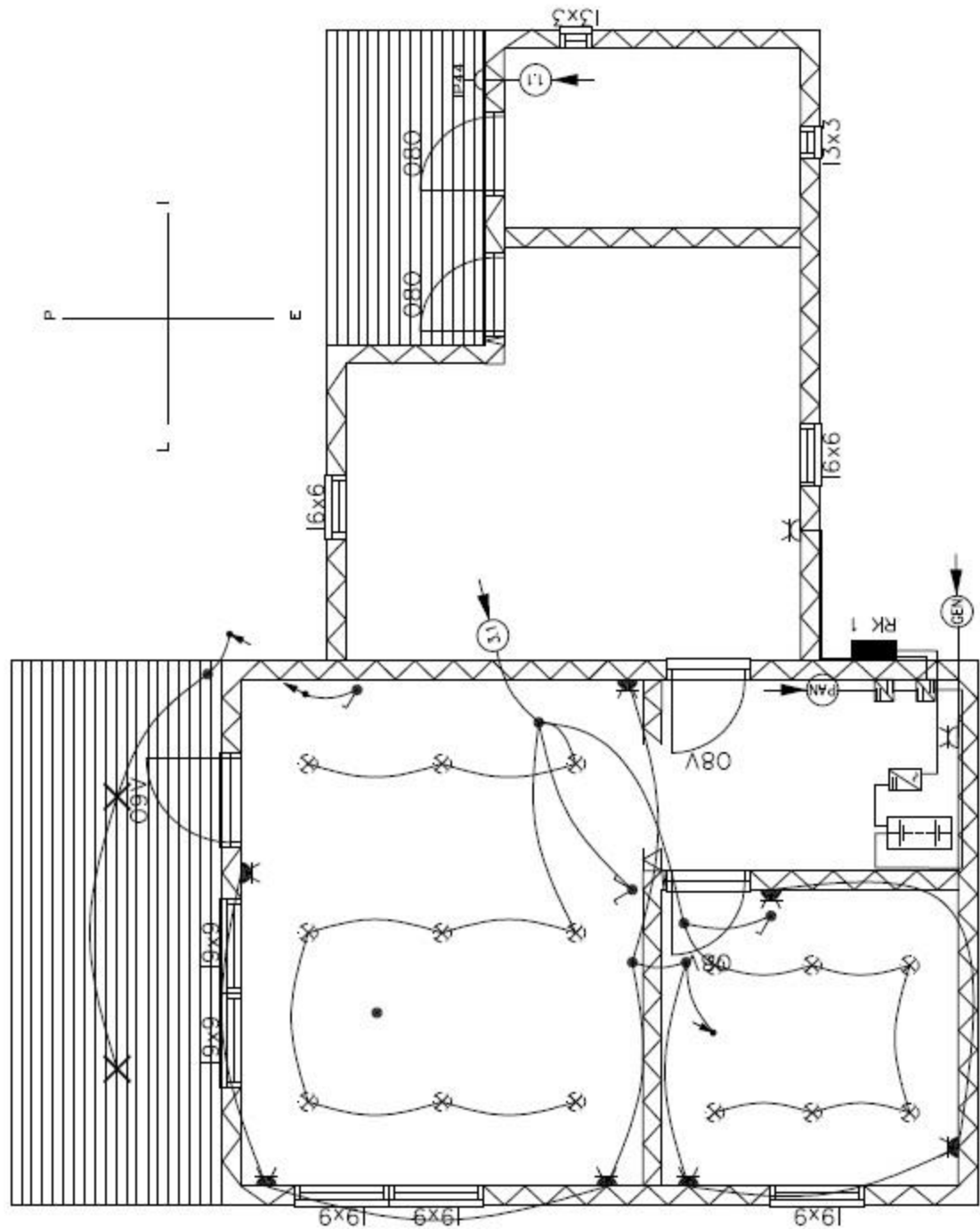
Käyttöönottomittauksista tehtävään pöytäkirjaan kirjataan kohteessa tehtyjen mittausten olennaisimmat tulokset. Eristysresistanssimittauksista tulee merkitä sekä koko järjestelmästä mitattu että ryhmäkohtainen eristysresistanssi. Automaattisen poiskytkennän mittaustuloksista saadut silmukkaimpedanssit kirjataan yleensä ryhmäkohtaisesti huonoimman mittatuloksen mukaisesti. Lisäksi pöytäkirjaan merkataan vikavirtasuojien toiminnasta saadut mittaustulokset. Lisäksi suojajohtimien mittauksista saatujen tulosten vaatimustenmukaisuus näytetään toteen keskuskohtaisesti. Kolmivaihejärjestelmässä toimivista järjestelmistä pitää todeta oikea vaiheiden kiertosuunta. Lopuksi käyttöönottotarkastuksen tekijä allekirjoittaa pöytäkirjan. (D1, 2012)

4.4 Esimerkkiprojektin esittely

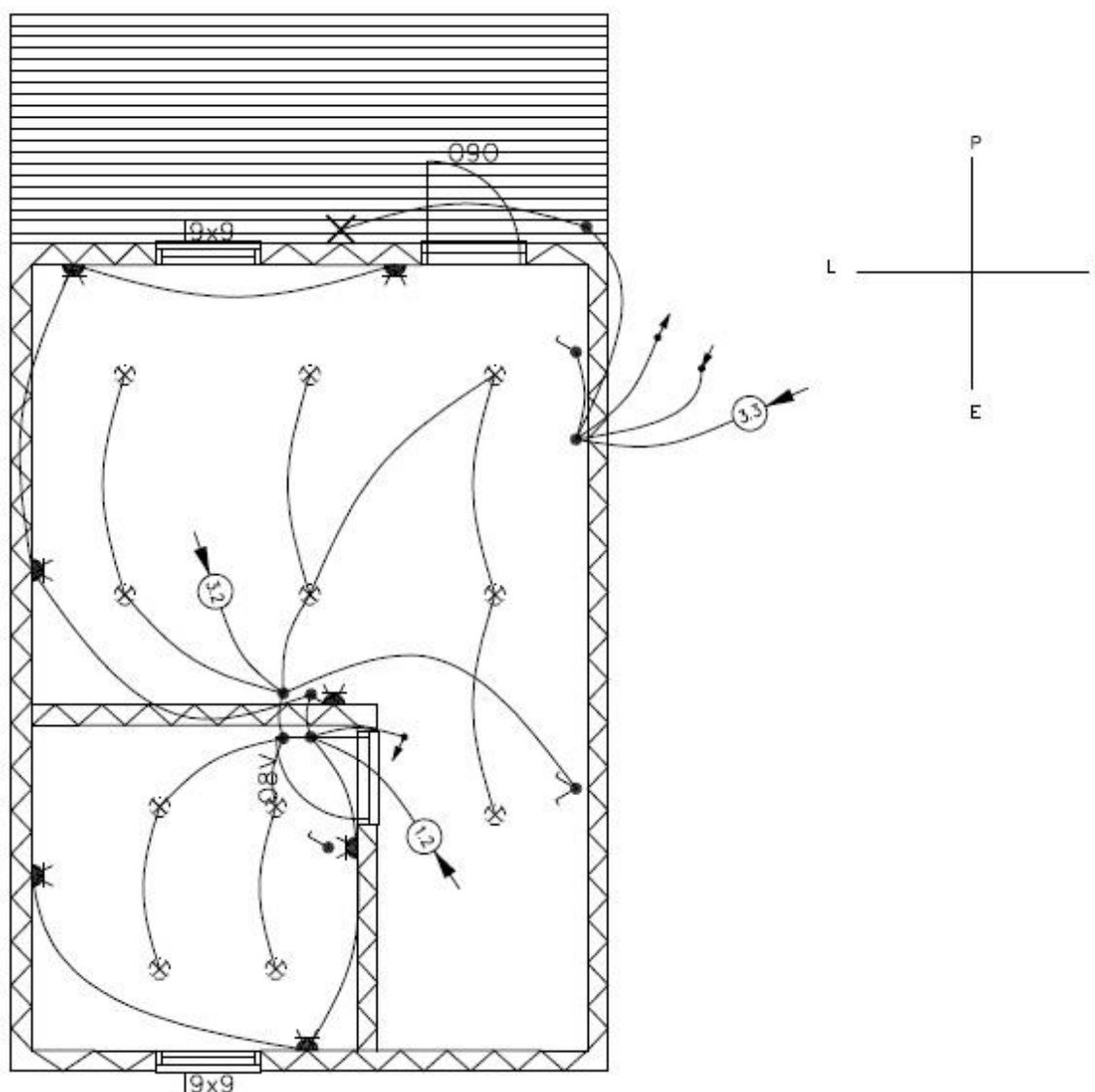
Tässä luvussa esitellään huolellisen suunnittelun ja rakentamisen tuloksena saatu aurinkosähköjärjestelmä ja sen tuottamaa energiaa kuluttava sähkölaitteisto. Tässä luvussa käydään läpi toteutetun järjestelmän loppupiirustukset kuvien ja niiden sanallisten selostuksien avulla. Visuaalinen esittäminen toteutetaan esittämällä suunnittelun ja toiminnan kannalta tärkeimmät piirustukset. Sanallisilla selostuksilla avataan esitettyjen piirustusten sisältöä mahdollisimman selkokielisesti. Selostuksilla pyritään kertomaan syyt tehtyjen valintojen taustoihin lyhyesti ja ytimekkäästi. Pistekuvista on jätetty pois joidenkin komponenttien sijainnit mahdollisimman hyvän luettavuuden takia.

Tässä osiossa esitettävät kuvat ovat huolto- ja korjaustöiden kannalta erittäin tärkeitä. Käyttöönottoon liittyviä asiakirjoja ei esitetä. Selostettavat piirustukset liittyvät periaatteessa vain laitteiden sijoitukseen, kytkentätapaan ja suojalaitteiden kokoon. Lisäksi laitteistokokonaisuuden toiminta pyritään esittämään mahdollisimman yksinkertaisesti. Myös laitteistokokonaisuuden asennuksessa ja käytössä ilmenneet ongelmat pyritään kertomaan mahdollisimman selkeästi varoittavina esimerkkeinä. Laitteiston eri komponenttien onnistunut sijoitus perustuu aina suunniteltuun pistekuvaan.

Pistekuvassa esitetään jokaisen laitteistoon kuuluvan komponentin sijainti. Sijainnin lisäksi komponenttien asennuskorkeudet ja kaapeloinnissa tarvittavat johtimet esitetään kyseisessä dokumentissa. Kaapelointia ja laiteryhmiä käsitellään yksityiskohtaisemmin keskuskaavion muodossa. Keskuskaaviossa selvitetään mm. ryhmän erotukseen ja suojaukseen käytetyt laitteet, kaapeloinnissa käytettävien johtimien poikkipinta-ala sekä ryhmän tunnistamiseen tarvittavat tiedot. Viimeisimpänä tässä luvussa esitetään laitteiston toiminnan ymmärtämisen kannalta tärkein piirustus eli aurinkosähköjärjestelmän piirikaavio kaikkine komponentteineen. Tästä kaaviosta selviää oikean toiminnan vaatima kytkentätapa. Tämä piirustus on toteutettu tikapuurakenteella, jolloin virtapiirin ensimmäisenä osana on energiaa tuottavat komponentit. Kaavion alimmaisena osana on ryhmäkeskukselle menevä kaapelointi ja nolla- sekä suojajohtimet. Seuraavissa kuvissa esitetään sähkölaitteistosta tehdyt laitesijoituskuvat.










KUVA 23. Esimerkkikohteen 1. kerroksen pistekuva

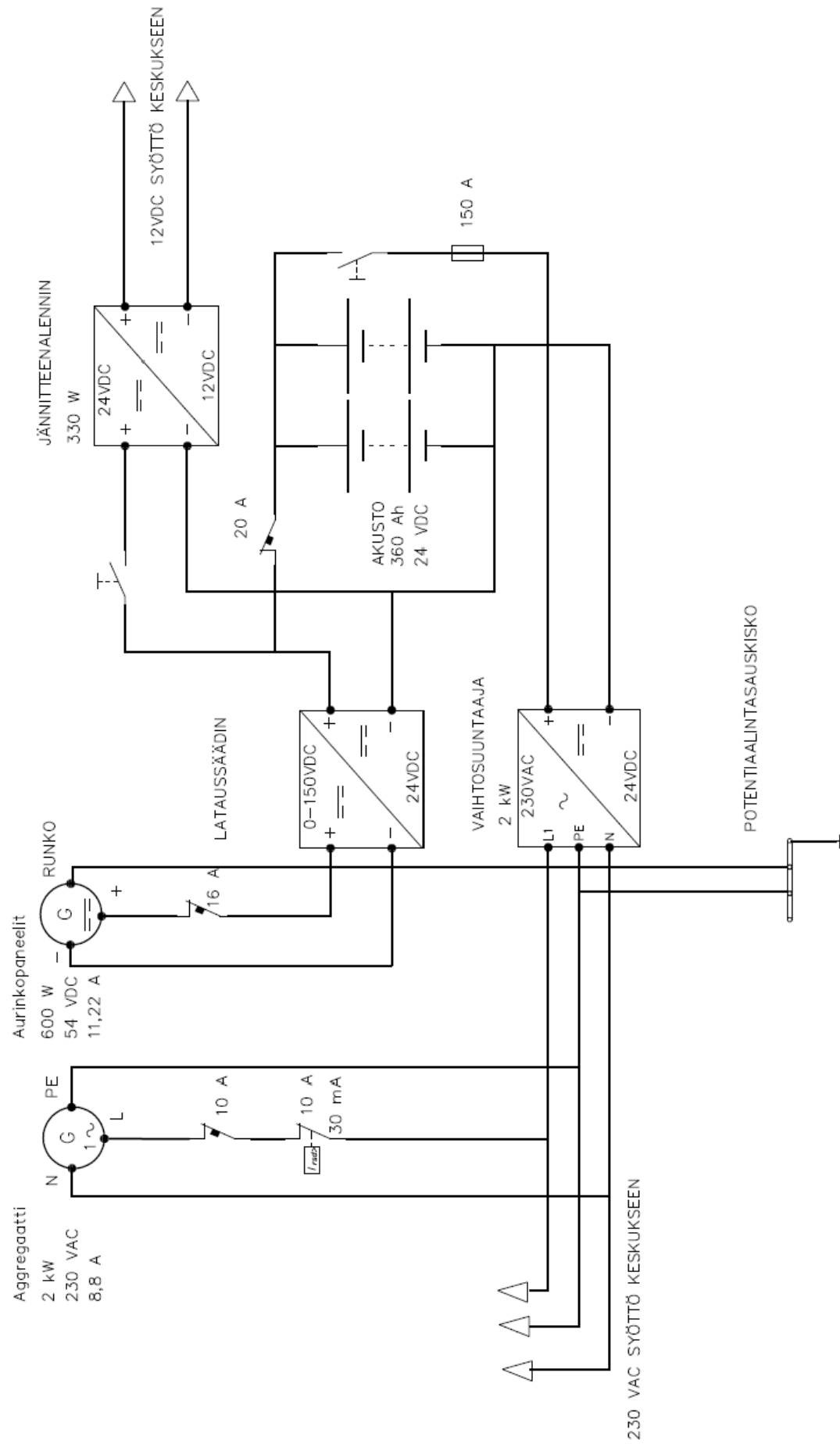


KUVA 24. Esimerkkikohteen 2. kerroksen pistekuva

Yllä olevissa kuvissa on esitetty kohteeseen rakennettu sähkölaitteisto. Näiden kuvien luettavuutta on parannettu jättämällä pois sähkölaitteiston rakenteen kannalta turhia yksityiskohtia. Kuvissa esitetään kaapeloinnit ja laitteiden väliset kytkennät eri ryhmissä. Ryhmien syötöt on piirretty todellisten kaapelointien tulosuuntien mukaisesti. Uppoasennusten kaapeloinnit on piirretty niiden oletetun kulkureitin mukaisesti, kun taas pinta-asennukset vastaavat täysin rakennettuja kaapelointeja. Paneeliston sijaintia eikä kaapelointien tunnuksia näihin kuviin ole merkitty, koska ne ovat tämän esittelyn kannalta merkityksettämiä tietoja. Kuvassa 25 esitetään 1. kerroksessa sijaitsevan ryhmäkeskuksen sisäinen rakenne. Kyseiseen kuvaan on piirretty mm. ryhmien yksilöintitiedot ja ryhmiä suojaavat etulaitteet nimellisvirtoineen. Lisäksi kuvan tiedoista selviää ryhmien johdottamiseen käytetyt kaapelit, tuotantolaitteiden nimellistehot ja verkkojännitteestä poikkeavat jännitetason ryhmässä.

	AGG	Aggregaatti				MMJ 3x2.5 S RU	2 kW	B10	
	PAN	Aurinkopaneeliketju				AJMY 2x6	0,6 kW	B16	54 VDC
	1.1	Vesipumppu				MCMK 2x2.5/2.5		B6	
	1.2	Sisäpistorasiat				MMJ 3x2.5 S RU		B10	
	3.1	AK valaistus				MMJ 3x2.5 S RU		B10	12VDC
	3.2	YK valaistus				MMJ 3x2.5 S RU		B10	12VDC
	3.3	Ulkovalaistus				MMJ 3x2.5 S RU		B10	12VDC

KUVA 25. Esimerkkikohteen laiteryhmät



KUVA 26. Esimerkkijärjestelmän piirikaavio

Kuvassa 26 esitetään koko tuotantojärjestelmän rakenne, josta näkee helposti, miten eri komponentit kytketään toisiinsa. Kuvassa on myös perustiedot tuotantolaitteiden ja suojalaitteiden nimellisarvoista. Kuva on melko samanlainen kuin aiemmin esitetty järjestelmän rakennekuva. Aiempi kuva kuitenkin keskittyi vain aurinkosähköjärjestelmän komponentteihin, kun taas yllä olevaan piirikaavioon on sisällytetty myös järjestelmään kuuluvaa varavoimakoneen kytkentä sekä suoja- ja erotuslaitteet. Lisäksi tähän kuvaan on piirretty kiinteistön sähkölaitteistoon rakennettu maadoitusjärjestelmä. Etukojeena on mahdollisuuksien mukaan pyritty käyttämään johdonsuojakatkaisijoita, koska niitä voidaan käyttää myös tarvittaessa lukittavina erotuslaitteina. Akustolta vaihtosuuntaajalle menevän suojauksen toteuttamiseen jouduttiin suurten kuormitusvirtojen takia käyttämään mekaanista sulaketta. Turvallisen erotettavuuden saavuttamiseksi sen eteen lisättiin lukittava kuormakytkin.

Kuvaan ei ole merkitty kaapeleiden kokoja. Kaapeleiden tyyppi- ja poikkipinta-alatiedot löytyvät kuitenkin keskuskaaviosta, joten ne jätettiin merkkäämättä piirikaavioon. Akuilta vaihtosuuntaajalle menevän kaapelin kokoa ei löydy kuitenkaan keskuskaaviosta. Tähän kaapelointiin käytettiin MKEM-tyyppistä hienosäikeistä ja taipuisaa johdinta. Johtimen poikkipinta-alaksi arvioitiin 35 neliömillimetriä jatkuvan suuren kuormitusvirran takia. Maadoituksen tekemiseksi käytettyjen johtimien tietoja ei myöskään löydy keskuskaaviosta. Maadoituselektrodi toteutettiin karkeasäikeisellä kuuden neliön paljaalla kuparijohtimella. Tämän johtimen pituus oli noin 20 m ja se upotettiin kokonaisuudessaan maahan. Tämän kaapelin molemmat päät kytkettiin potentiaalintasauskiskoon silmukan luomiseksi. Aurinkopaneelien runkojen ja antennitolpan maadoitukseen käytettiin 6 mm²- kokoista karkeasäikeistä suojajohdinta.

Tämän projektin hankalimmaksi osuudeksi osoittautui valaistuksen virtalähde. Valaistus päätettiin toteuttaa 12 VDC järjestelmänä osien hyvän saatavuuden takia. Lisäksi vähemmillä energian muodonmuutoksilla järjestelmän hyötysuhde pysyisi mahdollisimman korkeana. Laitemäärän minimoimiseksi valaistuksen energian syöttö toteutettiin keskiteyllä syötöllä, joten muuntolaitteita oli vain yksi useampien sijaan. Syöttö olisi voitu myös toteuttaa yksittäisellä akulla, mutta tällöin akuston kuormitus olisi muuttunut epätaiseksi. Ensimmäinen tähän tarkoitukseen valittu laite oli perinteinen jänniteregulaattori, joka kulutti jatkuvasti suuria määriä energiaa. Tämä laite vaihdettiin moderniin jännitehakkuriin, jonka tyhjäkäyntihäviöt olivat melko olemattomat. Tällöin aiemman laitteen aiheuttamat häviöt katosivat ja laitteen ympäristön lämpötila laski normaaliksi.

5 POHDINTA

Likimain kaikki tuottamamme ja kuluttamamme energia on suoraan tai välillisesti peräisin Auringosta. Aurinkosähkön hyödyntämisen suurimpana haasteena on pitkään ollut sen erittäin korkea hintataso suhteessa tuotetun energian määrään. Näistä järjestelmistä kuitenkin tulee aina vain kannattavampia investointeja verkosta ostettavan energian hinnan noustessa ja tuotantojärjestelmien hintojen laskiessa. Aurinkosähkölaitteiden hyötysuhteet myös kehittyvät jatkuvasti huimaa vauhtia, mikä johtaa yhä suurempiin aurinkosähköllä tuotettuihin energiamääriin. Tästä syystä oikein suunniteltu ja toteutettu aurinkosähkölaitteiden järjestelmä on muuttunut puhtaasta ekoteosta kannattavaksi investoinniksi. Aurinkopaneelien jatkuva kehitystyö luo myös jatkuvasti uusia mahdollisuuksia aurinkosähkön hyödyntämiselle esim. rakenteiden pinnoitemateriaalina.

Tästä opinnäytetyöstä oli tarkoitus tehdä käsikirja erityisesti yleisen sähköverkon ulkopuolella toimivien aurinkosähkölaitteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen. Työn ohessa esitellyn esimerkkiprojektin oli tarkoitus antaa käytännön esimerkkejä rakentamisprosessin eri vaiheista. Mielestäni tämä raportti pääsi tavoitteeseensa, sillä työ käsittelee järjestelmän suunnittelun ja rakentamisen tärkeimmät asiat suhteellisen hyvällä tarkkuudella. Aurinkoenergian yleinen käsittely antaa hyvän yleiskuvan hyödynnettävissä olevasta energian määrästä ja ilmakehän vaikutuksista maan pinnalle saapuvan säteilyn määrään. Suunnittelussa kerrotaan järjestelmän tehon määrittämisen periaate ja perusteet komponenttien valintaan. Toteutuksessa käydään läpi järjestelmän asentamisesta ja käyttöönotossa huomioitavat seikat. Näiden tietojen pohjalta ei välttämättä pysty rakentamaan kokonaista aurinkosähkölaitteiden järjestelmää alusta loppuun, mutta ainakin tämä työ toimii hyvänä tukityökaluna järjestelmää rakentavalle.

Tämän opinnäytetyön tekeminen on ollut myös erittäin opettavainen kokemus tekijälleen. Ennen tämän raporttia kokemukseni aurinkosähkölaitteiden järjestelmistä perustui vain rakentamaani laitteistoon. Tällaisen suhteellisen laajan kokonaisuuden tekeminen vaatii tekijältään perehtymistä useisiin eri lähteisiin riittävän laajan ja luotettavan tietomäärän aikaan saamiseksi, joten ymmärrykseni aurinkoenergiasta on nyt aivan eri tasolla kuin työtä aloittaessani. Tämän työn tekeminen on siis antanut minulle hyvän lähtökohdan aurinkosähkölaitteiden järjestelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen.

LÄHTEET

Lehto, H. Luoma, T. & Virolainen, A. 2005. Energia Yhteiskunnassa-Lukiolaisen käsikirja.

Wikipedia. Aurinko. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinko#/media/File:Energiantuotanto.PNG>. Viitattu 13.4.2016.

Ilmatieteenlaitos. Auringon rakenne ja elinkaari. <http://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>. Viitattu 13.4.2016.

Suntekno Oy. Aurinkoenergia. <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>. Viitattu 13.4.2016.

Erat, B. Erkkilä V. Nyman C. Peippo, K. Peltola, S. Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry.

Isojunno, V. 2014. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Opinnäytetyö.

PVEducation. Air mass. <http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass>. Viitattu 13.4.2016.

Korpela, A. 2013. Aurinkosähkön perusteet. <https://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/DEE-53010/luennot2013/luento1.pdf>. Viitattu 13.4.2016.

Motiva Oy. 2015. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. Viitattu 13.4.2016.

Institute of energy and transport (IET). Country maps. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_hor/G_hor_FI.pdf. Viitattu 13.4.2016.

Boxwell, M. 2014. Solar Electricity Handbook 2014 Edition. Greenstream Publishings. United Kingdom

Käpylehto, J. 2014. Mökille sähköt auringosta ja tuulesta. Into Kustannus Oy. Helsinki.

Energiateollisuus ry ja Fingrid Oyj. 2010. Hyvä tietää sähkömarkkinoista.

Energiavirasto. Tuotantotuki. <http://www.energiavirasto.fi/tuotantotuki1/>. Viitattu 13.4.2016.

Davidson, J. Orner, F. 2008. The new solar electric home- The complete guide to photovoltaics for your home.

Korpela, A. 2014. Aurinkosähkön perusteet. Kurssimateriaali

Solaredge. PV-system shading. <http://www.solaredge.com/articles/pv-system-shading>. Viitattu 13.4.2016

Räsänen, J. 2015. Aurinkoenergian hyödyntäminen kasvihuonetuotannossa. Opinnäyte-työ.

Lynn, P. 2010. Electricity from sunlight. John Wiley & Sons Inc. E-kirja.

Paavola, M. 2012. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampe-reella. Diplomityö.

Civicsolar. Monocrystalline vs. Polycrystalline Solar Panels. <https://www.civicsolar.com/resource/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>. Viitattu 13.4.2016

China Solar. Amorphous Panels. <http://www.solars-china.com/solar-panel/amorphous-panels.html>. Viitattu 13.4.2016.

Westech Solar Energy. Solarmodules. <http://westech-pv.com/index.php?a=1745>. Viitattu 13.4.2016.

Erikoistekniikka.fi. Verkkokauppa. <http://www.erikoistekniikka.fi/tuote/la-tauss%C3%A4%C3%A4din-40a-ep-solar-tracker-mppt-ep-solar-tracker/7034010226/>. Viitattu 13.4.2016

Kalogirou, S.2009. Solar energy engineering- Processes and systems. E-kirja.

Sunlux. Siniaaltoinvertterit. <http://www.sunlux.fi/text/WTCombi.pdf>. Viitattu 13.4.2016.

North American Clean Energy. Selecting the Best Battery for Renewable Energy Applications. <http://www.nacleanenergy.com/articles/13081/selecting-the-best-battery-for-renewable-energy-applications>. Viitattu 13.4.2016.

ABB. TTT-käsikirja. 2000. Johtimien kuormitettavuus.

D1. 2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista

SFS Käsikirja 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1:SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset.